Studien zur Wissenschafts- und Technikforschung
Herausgeber: Prof. Dr. Wolfgang Krohn, Prof. Dr. Peter Weingart

Uli Kowol

Innovationsnetzwerke

Technikentwicklung zwischen Nutzungsvisionen und Verwendungspraxis

DUV Deutscher Universitäts Verlag
GABLER · VIEWEG · WESTDEUTSCHER VERLAG

Uli Kowol

Innovationsnetzwerke

Studien zur Wissenschafts- und Technikforschung
Herausgegeben von Prof. Dr. Wolfgang Krohn
und Prof. Dr. Peter Weingart

Die

Studien zur Wissenschafts- und Technikforschung

richten den Blick auf die Funktionen von Forschung und technologischer Entwicklung in der entstehenden Wissensgesellschaft. Wissenschaft und Technik sind einerseits die wichtigsten Garanten der Innovationsfähigkeit der Gesellschaft, andererseits aber auch Quellen neuer Unsicherheiten und Befürchtungen.
In den Bänden der Schriftenreihe werden neue Formen der Wissenserzeugung, die Bewältigung von Risiken sowie die Konflikte zwischen unterschiedlichen Interessen und Wissenskulturen analysiert.

Uli Kowol

Innovationsnetzwerke

Technikentwicklung zwischen Nutzungsvisionen und Verwendungspraxis

Mit einem Geleitwort von Wolfgang Krohn

DUV Deutscher Universitäts Verlag
GABLER · VIEWEG · WESTDEUTSCHER VERLAG

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Kowol, Uli:
Innovationsnetzwerke : Technikentwicklung zwischen Nutzungsvisionen und Verwendungspraxis / Uli Kowol. Mit einem Geleitw. von Wolfgang Krohn – Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl., 1998
(Studien zur Wissenschafts- und Technikforschung)
(DUV : Sozialwissenschaft)
Zugl.: Bielefeld, Univ., Diss., 1997
ISBN 978-3-8244-4274-4 ISBN 978-3-322-93470-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-93470-3

Alle Rechte vorbehalten
© Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, Wiesbaden, 1998

Lektorat: Claudia Splittgerber

Der Deutsche Universitäts-Verlag ist ein Unternehmen
der Bertelsmann Fachinformation GmbH.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

http://www.duv.de

ISBN 978-3-8244-4274-4

Geleitwort

Technischer Wandel kennzeichnet die Entwicklung der modernen Gesellschaft seit der industriellen Revolution um die Wende zum 19. Jahrhundert. Das wirklich Erstaunliche an der Geschichte dieser 200 Jahre ist, daß die Revolution nie aufgehört hat. Im Gegenteil, sie hat in mehreren Wellen an Intensität zugenommen, und wir haben bis heute nicht gelernt, den Wandel einigermaßen vorherzusehen, geschweige denn zu planen und zu steuern. Eine einzige Gewißheit bleibt: auch der Wandel wandelt sich ständig: "*Es geht um ein ständiges Erzeugen von Anderssein*" (Luhmann, 1992, 15). Die neuesten Wellen der Technisierung - die Informatisierung aller Lebensbereiche und der gentechnologische Umbau der Natur - sind Beispiele für diese Kombination von Intensität und Unvorhersehbarkeit des inzwischen weltweiten Wandels. Bei dieser Sachlage stellt sich die Frage: Wie entsteht technologische Innovation? Auch wenn in der Gesellschaft seit dem Entstehen der maschinellen Fabrik zurecht immer wieder Gefühle der Ohnmacht, Angst und Entfremdung gegenüber der "Macht der Technik" artikuliert wurden, so ist Technologie doch keine fremde Besatzung von irgendwo, sondern beruht auf Aktivitäten der Forschung, Entwicklung und Implementation, die im Institutionensystem unserer Gesellschaft verankert sind. Aber warum kommen diese Aktivitäten nicht zum Erliegen, wenn die Wege der Innovation so stark mit Unsicherheiten und Ungewißheiten gepflastert sind? Die Antwort Kowols ist mit dem Titel der Arbeit angedeutet: Innovationsnetzwerke schließen Hersteller und Anwender neuer Technologien zusammen und schaffen eine gemeinsame Insel der Überschaubarkeit im großen Meer der Veränderungen. Wie kommen solche Netzwerke zustande, wie arbeiten sie, wie halten sie organisational und personal zusammen? Durch empirische Untersuchungen in einer Vielzahl von Firmen erschließt Kowol eine Antwort auf diese Fragen.

Das Gegenstandsfeld des Buches ist der Werkzeugmaschinenbau. Damit ist ein Technikbereich angesprochen, der seit der Frühindustrialisierung im 19. Jahrhundert wesentlich zur Dynamik der Industrieentwicklung beigetragen hat. Die Verselbständigung der Investitionsgüterindustrie beruht im Kern auf dem Bau von Werkzeugmaschinen zur industriellen Herstellung von Maschinen. Drehmaschinen mit rotierenden Werkstücken wurden schon im 18. Jahrhundert speziell für Präzisionsprodukte (etwa den Uhrenbau) hergestellt; Zylinderbohrmaschinen (Wilkinson), Schraubendrehbank (Maudsley) und Universaldrehmaschine (Fox) stammen aus der Zeit von 1775-1820.

Obwohl diese Maschinen zum Teil schon serienmäßig produziert wurden, hat die Wirtschaft erst durch das in Amerika entwickelte "system of manufacture" durch Normierung der Standardelemente und Spezialisierung der Teilefertigung in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts eine für Massenfertigung und große Märkte geeignete Innovationsstruktur gefunden. Kowol folgt dieser Entwicklung anhand bedeutender technikhistorischer und -soziologischer Analysen und kommt zu dem Ergebnis, daß mit der gegenwärtigen Modernisierung bereits moderner Innovationsstrukturen vieles für eine Erosion der genannten Innovationsstruktur spricht: Die Signale der Märkte vervielfältigen sich und bilden keine eindeutige Vorgabe für eine erfolgreiche Innovationstätigkeit, die Optionsvielfalt bei der Produktentwicklung führt zu steigenden technologischen Unsicherheiten; beide Entwicklungen erschweren es, den Innovationsprozeß rational zu kalkulieren. In diesem aktuellen Kontext positioniert Kowol die Leitfrage der Arbeit: Wie steht es heute um die Organisierung der Innovation?

In den klassischen Phasen der Entwicklung, so sagt die Studie, wurde die Frage aufgrund der Phänomene der Massenmärkte und der mächtigen Anbieterfirmen nicht allzu ernst genommen. Die Märkte signalisierten Bedürfnisse, und die großen Firmen besaßen genügend Ressourcen, technologische Lösungen in die Märkte zu pressen - ein Spiel aus "*pull*" und "*push*".

Vermutlich hat das Spiel schon früher komplizierte Regeln gehabt; heute jedenfalls funktioniert es nicht mehr. Kowol hat - in Zusammenarbeit mit anderen Mitarbeitern - in insgesamt 16 Firmen 140 ausführliche Interviews geführt, um zu untersuchen, wie die Kommunikations- und Kooperationsbeziehungen zwischen Herstellern und Anwendern bei der Entwicklung und Anwendung neuer Maschinen sind. Daraus ergibt sich ein plastisches, detailreiches Bild über den schrittweisen Aufbau von Vertrauensbeziehungen, die von den Akteuren genutzt werden, um fehlerfreundlich, experimentell und flexibel die Entwicklung eines neuen Maschinentypus zu betreiben. Diese Vertrauensbeziehungen sind genau die Voraussetzungen dafür, daß Hersteller und Anwender ein Stück Sicherheit der Zukunftsgestaltung erzeugen können.

Neben dem Thema Vertrauen spielt dann der Begriff des Lernens - "*rekursives Lernen*" - eine wichtige Rolle. Zum ersten Mal erfahren wir in dieser Analyse, wie wichtig die Erfahrungen sind, die Facharbeiter in den Anwenderbetrieben noch im Entwicklungsstadium mit neuen Maschinen machen. Die Kooperation in einem 'Innovationsnetzwerk' ermöglicht es der Herstellerfirma, diese Erfahrungen für die Gestaltung des Endprodukts zu nutzen.

Auf der Basis des empirischen Materials weist die Arbeit nach, daß nicht nur für Kleinserienhersteller, sondern auch für Serienhersteller der Aufbau von vertraglich nicht durchregulierten Kooperationsbeziehungen zu Anwendern eine notwendige Bedingung der Durchsetzung neuer Produkte am Markt ist. Kowol spricht hier vom Aufbau eines "*repräsentativen Verwendungskontextes*". Damit ist gemeint, daß zusammen mit einer neuen Technikgeneration auch ein neuer Markt gleichsam erfunden und ausprobiert werden muß - und hierzu schließen sich Hersteller und Anwender zusammen.

Zwei Dinge sind es, die im Anschluß an diese Untersuchung der technologischen Innovation neu gesehen werden müssen: Nicht der Markt, sondern die Kooperation leitet das Innovationsgeschehen an; nicht die Erfindung, sondern das 'rekursive Lernen' im Prozeß des Innovierens zwischen Erfindern und Anwendern ist erfolgversprechend.

Die Anwenderfirma kann in diesem Wechselspiel nicht nur erfahren und mitgestalten, in welcher technischen Auslegung die Maschinen ihren Zwecken dient, sie kann auch während der Erprobung neue Ziele entdecken und in die Gestaltung aufnehmen lassen. Der Hersteller erhält frühzeitig Informationen über Entwurfsschwächen, schlechte Bedienungsschnittstellen und Fertigungsmängel. Durch dieses zwischenbetriebliche Wechselspiel kann die Belastung der Innovation durch Ungewißheiten, die innerhalb von Organisationen nicht mehr bewältigt werden können, aufgefangen werden.

Diese einleitenden Bemerkungen sollten genügen, ein Interesse an den Feinanalysen der Arbeit zu wecken. Aber auch dem Interesse nach einer theoretischen Ausgestaltung des Konzeptes der Innovationsnetzwerke kommt Kowol nach. Mit Hilfe der Theorie der Selbstorganisation zeigt Kowol, daß technische Lösungen sich durch den Prozeß des rekursiven Lernens als 'Eigenlösungen' oder 'Attraktoren' herausbilden, ohne daß dieses Ergebnis zu Beginn des Entwicklungsprozesses als Zielvorgabe bestanden hat. Die 'operationale Schließung' zwischen technikerzeugenden und -verwendenden Akteuren führt zu einer passenden Lösung, von der keineswegs behauptet werden muß, daß sie in irgendeinem Sinn die beste sei. Allerdings muß man auch nicht eingestehen, es gäbe beliebig viele Lösungen. Mit anderen Worten: Gute technische Lösungen sind knapp, aber nicht singulär. Dieser aus der Theorie der Selbstorganisation gewonnene Analyserahmen wird hier zum ersten Mal für die Techniksoziologie fruchtbar gemacht.

Wolfgang Krohn

Vorbemerkung

Dieses Buch ist aus unterschiedlichen Forschungsprojekten, Seminaren und intensiven Diskussionen mit Freunden und Kollegen hervorgegangen. Mein Dank gilt deshalb zunächst allen KollegInnen des Instituts für Wissenschafts- und Technikforschung der Universität Bielefeld, die zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben, insbesondere dem Geschäftsführer Günter Küppers für seine großzügige Unterstützung.

Hervorheben möchte ich meinen Dank an Jupp Asdonk und Ralf Herbold, mit denen ich zwischen 1989 und 1995 in mehreren Forschungsprojekten freundschaftlich und produktiv zusammengearbeitet habe. Beide haben das vollständige Manuskript mehrfach gelesen und kritisch kommentiert. Darüber hinaus ist dieses Buches eine Erinnerung an meinen ehemaligen Kollegen Udo Bredeweg, der leider viel zu früh verstorben ist.

Mein besonderer Dank gilt Wolfgang Krohn, der mir in allen Phasen der Forschung und der Entstehung dieses Buches ein kluger Ratgeber und kritischer Begleiter war. Seinen Anregungen, Kommentaren und nicht zuletzt seiner Ermutigung, habe ich ebenfalls viel zu verdanken.

Widmen möchte ich dieses Buch meinen Eltern, ohne deren Engagement ich nicht hätte Soziologie studieren können.

Uli Kowol

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort V
Vorbemerkung IX

Einleitung 1

I. Sozialwissenschaftliche Innovationstheorien 9

1. Einleitung 9

2. Die klassische Kontroverse: *demand pull*- und *technology push*-Theorien des technischen Wandels 12
2.1 *Demand pull*-Theorie des technischen Wandels 13
2.2 *Technology push*-Theorie des technischen Wandels 17

3. Auf dem Weg zu einem dynamischen Modell des technischen Wandels . . 25
3.1 *Technologische Konvergenz* und *Vertikale Desintegration* 25
3.2 *Learning by doing* und *Learning by using* 28

4. *Evolutionäre Ökonomie* 31
4.1 Technologisches Regime und organisationale Routine 33
4.2 Paradigmata und Trajektorien 36
4.3 Zusammenfassung, Kritik und weiterführende Überlegungen 42

II. Theoretisch-konzeptioneller Rahmen: Die Rekursivität technischer Innovation 51

1. Einleitung 51

2. Kontinuität und Bruch 55
2.1 Wahrnehmungen 55
2.2 Erweiterungen: Technik und Technisierung 59

3. Innovation als rekursiver Prozeß 68
3.1 Technikerzeugende, -verwendende und -regulierende Sozialsysteme 69
3.2 Rekursive Innovation 74
3.3 Die Relevanz der Kooperation 84
3.3.1 Transaktionskostentheorie und Technikgenese 86

4. Kontinuität und Diskontinuität in technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsystemen 91

III. Das Untersuchungsdesign: Untersuchungsfeld, Hypothesen, Forschungsfragen und Methoden 95

1. Einleitung 95

2. Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung im Werkzeugmaschinenbau 97
2.1 Exkurs: Die Relevanz der Klein- und Mittelbetriebe für die Innovationsforschung 101

3. Strukturdaten für den deutschen Werkzeugmaschinenbau 104
3.1 Die Fachgemeinschaft "Werkzeugmaschinen" im allgemeinen Maschinenbau 105
3.2 Produktion, Beschäftigung und Umsatz 106
3.3 Fertigungsarten, Produktionsstruktur und Betriebsgrößen 107
3.4 Forschungsintensität, Patente und Innovativität 113
3.5 Die internationale Konkurrenzsituation 117
3.6 Krisen- und Umstrukturierungsprozesse in der Werkzeugmaschinenbauindustrie seit 1991 123
3.7 Zusammenfassung 131

4. Hypothesen und Forschungsfragen 132
4.1 Rekursive Technikentwicklung 134

4.2 Die Rolle der Praxis: Innovationsarbeit und die Bedeutung der Facharbeit 135
4.3 Innovationsnetzwerke 137

5. Design und Erhebungstechniken der empirischen Untersuchung 139

IV. Empirische Untersuchungen 157

1. Rekursive Technikentwicklung: Die Erzeugung einer *Eigenlösung* 158
1.1 Der Technikhersteller II 158
1.2 Der Technikverwender II_1 161
1.3 Präkontraktuelle Aushandlungen: Die Erzeugung der Anfangsbedingungen 164
1.3.1 Die Vorgeschichte 166
1.3.2 Verhandlungsaktivitäten 170
1.4 Rekursive Technikentwicklung: Dynamische Abhängigkeiten 177
1.4.1 Konstruktionsaktivitäten 180
1.4.2 Fertigungs- und montagetechnische Realisierung 182
1.4.3 Inbetriebnahme und Vorabnahme 189
1.4.4 *Experimentelle Technikimplementation* 194
1.5 Verallgemeinerungen 199

2. Technikentwicklung und Innovationsarbeit 205
2.1 Industrie- und organisationssoziologische Ansätze 206
2.2 Innovationsarbeit 211
2.3 Empirische Resultate 215
2.3.1 Innovationsarbeit im Erzeugungskontext von Technik 216
2.3.1.1 Innovationsarbeit in der Entwurfsphase 220
2.3.1.2 Innovationsarbeit im Prototypenbau und in Nullserien. . . 222
2.3.1.3 Innovationsbeiträge während der Inbetriebnahme 232
2.3.2 Innovationsarbeit im Verwendungskontext von Technik . . . 240
2.4 Zusammenfassung 253

3. Innovationsnetzwerke 257
3.1 Innovationsnetzwerke im Serienmaschinenbau 259
3.2 Innovationsnetzwerke im Sondermaschinen- und Kleinserienbereich 274
3.3 Zusammenfassung 294

V. Innovationsnetzwerke: Ein Modell der Technikgenese 297

1. Einleitung 297

2. Netzwerke als neue Form der Sozialintegration 298
2.1 Konturen der Netzwerkdiskussion 298
2.2 Kontingenzen im modernen Innovationsprozeß 302

3. Innovationsnetzwerke - theoretische Merkmale 315
3.1 Der soziale Strukturaufbau von Innovationsnetzwerken: Vertrauensbasierung 316
3.2 Innovationslernen 325
3.2.1 Interaktives Lernen 326
3.2.2 Organisationales Lernen 328
3.2.3 Reflexives Lernen 330

VI. Resümee 335

Literaturverzeichnis 345

Einleitung

In der traditionellen Sichtweise der Innovationsdynamik wurde vermutet, daß technische Innovationen - als praxisbezogene Anwendung ingenieurwissenschaftlichen Wissens - in betrieblicher Forschung und Entwicklung geplant, in sequentiell organisierten Arbeitsprozessen erzeugt und in weitgehend homogenen und transparenten Märkten vertrieben werden. Eingebettet in eine weitgehend nationalstaatliche Regulation der Ökonomie und Finanzwirtschaft und ein vertrautes Institutionengefüge wurden Innovationsprobleme als solche der zweckrationalen Kalkulation, effektiven Ablauforganisation, Technologieplanung sowie der genauen Marktbeobachtung beschrieben. Diese Beschreibung der ökonomischen Innovationstheorie entsprach jedenfalls der Ausdifferenzierung spezialisierter Funktionen und Abteilungen und der linear-sequentiellen Organisation der Innovationsprozesse in vielen Unternehmen.

Demgegenüber gelten moderne technische Innovationen selten als ein Ergebnis einzelbetrieblicher Erfindungs- und Vermarktungsstrategien, die auf vollständige Antizipation von Bedarfslagen reagieren, noch ordnen sie sich dem Bild einer passiven Umsetzung von wissenschaftlichem Wissen in angewandtes Wissen und - vermittelt durch die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Unternehmen - in marktreife Produkte ein. Entgegen der traditionellen Sichtweise entsteht in der modernen Innovationsforschung und Techniksoziologie gegenwärtig ein sehr viel differenzierteres Bild der Technikentwicklung, in dem die Begriffe der *Unsicherheit*, *Intransparenz* und *Akzeptanz* zentral sind:

- Eine wachsende sachliche Heterogenität von Technik und Technologie und damit im Zusammenhang stehende Organisationsprobleme - beispielsweise im Werkzeugmaschinenbau (durch die Zusammenführung von Mechanik, Mikroelektronik und neuen Werkstoffen), in der Telekommunikation (durch die Integration der Mikroelektronik, die technische Normung und die Zusammenführung unterschiedlicher Endgeräte und Verwendungszwecke) und im Bereich der Abfallwirtschaft (von der Deponie zum integrierten Entsorgungsnetz) - verstärken die organisationale und technologische *Unsicherheit* sowohl für die Erzeuger als auch die Nutzer von Technik. Dimensionen dieser Unsicherheit bilden etwa die Nutzungsvisionen in den Erzeugungskontexten und die Implementationsanforderungen von Technik in den Verwendungskontexten.

- Die aktuelle Verflechtung globaler Märkte mit den nationalen Innovationssystemen (Nelson 1993) und die Veränderung homogener und transparenter Massenmärkte zu teilindividualisierten Käufermärkten konfrontieren innovierende und investierende Unternehmen zunehmend mit der Unvollständigkeit von Informationen z.B. über Konkurrenzaktivitäten, Technologiealternativen, zukünftige Marktentwicklungen oder Aufwand-Ertrags-Relationen, d.h. mit der zunehmenden *Intransparenz* der Märkte.
- Globale Umweltschäden durch CO_2-Emissionen, potentiell irreversible Entwicklungen infolge gentechnischer Freilandversuche, Ölkrisen und Havarien großer technischer Systeme, die Risiken der Großchemie und die ungelösten Probleme der Abfallbeseitigung stehen als Stichworte für vermutete oder bereits eingetretene negative Wirkungen technischer Entwicklungen. In dem Maße, wie die Gleichsetzung von technischen und gesellschaftlichen Fortschritt an Überzeugungskraft verliert, müssen technisch-organisatorische Innovationen immer häufiger öffentlich legitimiert werden und um *Akzeptanz* bemüht sein.

Die angesprochenen Phänomene sind häufig nicht unabhängig voneinander. Sowohl im privatwirtschaftlichen Sektor als auch im Bereich öffentlicher Infrastrukturtechnik können sich technologische Unsicherheiten, Marktintransparenz und Akzeptanz wechselseitig verstärken. Der moderne gesellschaftliche Diskurs über die Technik problematisiert, welche immensen Wirkungsketten durch die Technikentwicklung ausgelöst werden und welche Konditionen in der Herstellung, Anwendung und Beseitigung technischer Produkte akzeptabel sein können. *Sozialverträglichkeit*, *Umweltverträglichkeit*, *sustainable development* und *Zukunftsfähigkeit* sind einige der Schlüsselbegriffe, mit denen in modernen Gesellschaften Richtungsdiskurse über die Ko-Evolution technischer und gesellschaftlicher Entwicklung geführt werden. Diese Diskurse unterstellen, daß Alternativen möglich sind und, in Abhängigkeit davon, daß der technische Wandel begründungspflichtig wird. (Vgl. bspw. Beck, Giddens, Lash 1996)

Wurden in der wissenschaftlichen Beobachtung des technischen Wandels zunächst Unsicherheiten der Technik und Probleme ihrer Akzeptanz vor allem hinsichtlich ihrer Verwendung thematisiert - insbesondere in den sozialwissenschaftlichen Untersuchungen zur *Humanisierung der Arbeit* und in der Technikfolgenforschung - so wendet sich Mitte der achtziger Jahre der Blick auch auf die Erzeugungs- und Regulierungskontexte von Technik. Dabei wurde nicht nur den vermuteten Wirkungen von Technik nachgegangen,

sondern es wurde auch die Genese neuer Techniken mit dem Ziel erforscht, mögliche Gestaltungsperspektiven aufzuzeigen. (Vgl. Rammert 1993) Zwar wurden allzu optimistische Annahmen über die Möglichkeiten der Steuerung und Planung des technischen Wandels schnell wieder enttäuscht, doch konnten technikdeterministische Annahmen eines *one best way* der technischen Entwicklung zurückgewiesen und die soziale Gestaltung von Technik eindrucksvoll belegt werden. (Vgl. Dierkes, Hoffmann 1992; Cronberg, Sørensen 1995) In neueren techniksoziologischen und innovationstheoretischen Arbeiten ist eine gewisse Zurückhaltung gegenüber den normativen Ausgangspunkten einer Steuerung des technischen Wandels sichtbar geworden, ohne jedoch die Perspektive der Technikgestaltung gänzlich aufzugeben.

Die entscheidenden Bezugspunkte für die aktuelle sozialwissenschaftliche Innovationsforschung bilden die bisher erzielten Erkenntnisse über die Bedeutung der Komplexität technologiebezogener Entscheidungen, die Multireferentialität der Entscheidungskriterien und die soziale Heterachie der Akteure und Institutionen, die Innovationsaktivitäten entfalten.

Dort werden gegenwärtig Fragestellungen favorisiert, in denen die Innovationsdynamik aus dem komplexen Zusammenspiel einzelunternehmerischer Innovationsentscheidungen, zwischenbetrieblicher Vernetzungen und institutioneller Einbettungen erklärt werden soll. Dabei werden Pfadabhängigkeiten (*Trajektorien*) und Verriegelungen (*lock-in-Effekte*) technischer Entwicklungslinien ebenso analysiert wie neuartige Kooperationsanforderungen und Lernstrategien zwischen den Herstellern und Verwendern neuer Technik. Die evolutionstheoretische Erklärung unterschiedlicher nationaler Innovationssysteme und die Frage "*Where do markets come from?*" (White 1981) sind weitere zentrale Anliegen dieser Forschung. (Vgl. Dosi, Nelson 1994)

Die Techniksoziologie hat in einer Reihe von Einzelstudien die konkreten Definitions-, Aushandlungs- und Schließungsprozesse von Technik verfolgt. Die Auffassung von Technik als einem *sozialen Konstrukt* steht am Beginn der Technikgeneseforschung. (Vgl. Rammert 1993; 1994b) Gegenwärtig ergibt sich über die vorliegenden Einzelstudien hinaus die Frage, wie sich die gewonnenen Erkenntnisse zu einer Theorie des technischen Wandels aggregieren lassen. Damit stellt sich auch die Frage der Anschlußfähigkeit der Techniksoziologie an die Gesellschaftstheorie.

Die hier verfolgte Absicht ist allerdings bescheidener: Es geht um die Entwicklung eines theoretischen Modells, das erlaubt, das Wechselverhältnis technischen und

sozialen Wandels zu beschreiben. Im Zentrum dieses Modells steht die Konzeption der *rekursiven Technikentwicklung*. Diese Konzeption wird in einem als grundlegend erachteten empirischen Feld technischer Innovationen - der Investitionsgüterindustrie - erprobt und geprüft. Der Begriff der *rekursiven Technikentwicklung* bezieht sich auf einen Prozeß, in dem sich Entwicklung, Verwendung und Regulierung neuer Technik wechselseitig vorantreiben, so daß nicht mehr strikt zwischen Ursachen und Wirkungen technischer Entwicklungen unterschieden werden kann, wie es beispielsweise klassische Innovationstheorien nahelegten.[1] Entwicklung und Verwendung neuer Technik sind strukturell und prozedural miteinander verwoben.

Da innovationsrelevante Leistungen zunehmend außerhalb der innovierenden Unternehmen erbracht werden, müssen diese durch entsprechende zwischen- und überbetriebliche Strukturen für den Innovationsprozeß verfügbar gemacht werden. Die dabei emergierenden Kooperations- und Kommunikationsstrukturen zwischen heterogenen (kollektiven und individuellen) Akteuren werden als *Innovationsnetzwerke* bezeichnet. In diesen Netzwerken werden technisches Wissen und technische Parameter generiert und transferiert, sie ermöglichen und stabilisieren Aushandlungsprozesse auf verschiedenen Ebenen der zwischen- und überbetrieblichen Kooperation. Die Konzeption der *Innovationsnetzwerke* bildet das zentrale Ergebnis dieser Arbeit.

Im ersten Kapitel wird der Stand sozialwissenschaftlicher Innovationstheorien resümiert. Zunächst stelle ich die klassischen Konzepte von *demand pull* und *technology push* vor. Es wird sich zeigen, daß das hier entwickelte Modell technischer Innovationen den Ungleichgewichtstheorien von Schumpeter bzw. Marx näher steht als den Gleichgewichtstheorien. Den Stärken beider Konzepte stehen jeweils bestimmte Defizite gegenüber. Modelltheoretisch führt dies zu der Aufgabe, daß die zu erarbeitende Konzeption technischer Innovationen eine dynamische Modellierung von Bedürfnisstrukturierung (Nachfrage) und Entwurfstätigkeit (Angebot) erfordert. (Abschnitt 2) Im dritten Abschnitt werden unter Rückgriff auf die Arbeiten von Nathan Rosenberg (1975; 1982) die Begriffe des *technologischen Ungleichgewichts* und der *vertikalen Desintegration* eingeführt, die eine Voraussetzung für die Weiterentwicklung des Modells bilden und den

---

[1] Vgl. Schmookler 1966; Schumpeter 1912; Mensch 1971; 1975. Zur Kritik siehe Bredeweg, Kowol, Krohn 1994.

vermuteten rekursiven Zusammenhang[2] zwischen der Entwicklung neuer Technik und deren Anwendung an einem historischen Beispiel illustrieren. Im vierten Abschnitt des ersten Kapitels werden die Arbeiten der *Evolutionären Ökonomie* rezipiert, die weitere wichtige Anschlußstellen für die Konzeption der rekursiven Technikentwicklung enthalten. Insbesondere die Arbeiten von Nelson, Winter (1976; 1982), Dosi (1982; 1988a), Freeman (1988) und Freeman, Soete (1990) verweisen auf die Vorteile einer evolutionären Betrachtungsweise technischer Entwicklung und - in ihrer aktuellen Weiterentwicklung - auf die Bedeutung des Einbezugs organisationaler Faktoren in das angestrebte Modell.

Im zweiten Kapitel wird die Konzeption *Innovation als rekursiver Prozeß* entwickelt. Mit der Rekursivitätsannahme soll den dynamischen Rückkopplungen zwischen Verwendungs- und Herstellungskontexten technischer Innovation Rechnung getragen werden. Ausgangspunkt dieses Kapitels bildet die dichotome Betrachtung des technischen Wandels unter den Perspektiven von Kontinuität bzw. Diskontinuität. Die Wahl dieses Ausgangspunktes soll verdeutlichen, daß aus einer technikzentrierten Betrachtungsweise kein hinreichendes Kriterium für die sozialwissenschaftliche Analyse des technischen Wandels zu gewinnen ist. Die Verknüpfung von technischem und sozialem Handeln gelingt so nicht. Um hier eine angemessene theoretische Konzeption zu entwikkeln, werden unter Rückgriff auf techniksoziologische Konzepte zunächst begriffliche Klärungen von Technik und Technisierung vorgenommen. Die Umstellung von einem substantiellen auf einen relationalen und prozessualen Technikbegriff dient dazu, Herstellungs-, Verwendungs- und Regulierungskontexte von Technik strikt aufeinander zu beziehen. Mit der begrifflichen Einführung der technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsysteme wird dann die Konzeption *Innovation als rekursiver Prozeß* entfaltet. Abschließend wird das Problem der Kontinuität bzw. Diskontinuität reformuliert.

Das dritte Kapitel dient der Darstellung des Designs und der untersuchungsleitenden Hypothesen der empirischen Untersuchung. Zunächst wird die sozialwissenschaftliche Innovationsforschung im Werkzeugmaschinenbau resümiert, im Anschluß daran werden die wichtigsten Strukturmerkmale und -daten dieser Branche vorgestellt.

---

2 Die Theorie dynamischer Systeme, der der Rekursionsbegriff entlehnt ist, zeigt, wie durch kleinschrittige Veränderungen auch radikaler Wandel entstehen kann. (Vgl. Krohn, Küppers 1989a; 1989b; 1989c)

Bevor dann das Design, die Erhebungstechniken und das Sample dargestellt werden, werden die forschungsleitenden Hypothesen entwickelt.

Im vierten Kapitel werden die empirischen Ergebnisse der Untersuchung dargestellt und diskutiert. Dieses Kapitel gliedert sich in drei Abschnitte. Ich beginne mit der Darstellung der rekursiven Operationsweise zwischen technikerzeugenden und -verwendenden Unternehmen im Innovationsprozeß. An einem Fall wird ausführlich der *Prozeß* des Innovierens nachgezeichnet und im Rahmen der Theorie selbstorganisierender Systeme interpretiert. Der zweite Abschnitt fokussiert die *Praxis* des Innovierens, wobei herausgestellt wird, daß die betriebliche und zwischenbetriebliche Kommunikation und Kooperation heterogener Akteure eine wesentliche Determinante des Innovationsprozesses darstellt. Inner- und zwischenbetriebliche Kooperationsprozesse lassen sich in allen Phasen des Innovationsprozesses und in unterschiedlichen Organisationsweisen belegen. Der letzte Abschnitt diskutiert die (zwischenbetriebliche) *Struktur* der Innovationsprozesse. An zwei unterschiedlichen Fällen wird die netzwerkartige Struktur zwischenbetrieblicher Innovationsprozesse analysiert. Die Aufmerksamkeit richtet sich hier insbesondere auf die Koordinationsformen und -mittel, das *Management von Unsicherheit*, die Akteurbeziehungen und die Konfliktlösungskapazitäten.

Die der Rekursivitätsannahme unterstellten Verknüpfungsleistungen zwischen Herstellung und Anwendung neuer Produkte und Verfahren werden im fünften Kapitel zu dem Modell der *Innovationsnetzwerke* erweitert. Innovationsnetzwerke - so die abschließende These - bilden die Struktur rekursiver Innovationsprozesse. Dieser These liegt die Annahme zugrunde, daß der Innovationsprozeß aufgrund von Marktintransparenz und technologischer Unsicherheit monetär und technologisch unterdeterminiert ist, d.h. weder mit dem spontanen Koordinationsmechanismus des Marktes noch mit dem klassischen Anweisungsprinzip hierarchischer Organisation hinreichend erklärt werden kann. *Innovationsnetzwerke* als selbstorganisierende Systeme zwischen den technikerzeugenden und -verwendenden Sozialsystemen bieten demgegenüber eine hohe Problemlösungskapazität, da sie die Bedingungen der Möglichkeit von technologischer Unsicherheitsreduktion und Markttransparenz erzeugen. Rückgekoppelte Lernprozesse stellen in Zeiten steigender technologischer Unsicherheiten und turbulenter Märkte einen wichtigen Wettbewerbsparameter dar. Sie erfordern andere Koordinationsformen und -mechanismen der sozialen Schließung als die Koordinationstypen Markt und Hierarchie. Innovationsnetzwerke bilden eine emergente Struktur, die die rekursive Opera-

tionsweise zwischen Erzeugungs- und Verwendungskontexten im Innovationsprozeß trägt.

Das sechste Kapitel resümiert die zentralen Schritte der konzeptionellen Arbeiten und faßt die wesentlichen Untersuchungsergebnisse zusammen. Auf dem Hintergrund der anhaltenden Krise des deutschen Werkzeugmaschinenbaus wird das Modell der Innovationsnetzwerke abschließend reflektiert.

I. Sozialwissenschaftliche Innovationstheorien

1. Einleitung

Das folgende Kapitel beginnt mit einem Überblick über klassische Innovationstheorien. (Abschnitt 2) Es werden Erklärungsansprüche und -grenzen sowie die theoriestrategischen Entscheidungen zur Weiterentwicklung sozialwissenschaftlicher Innovationstheorien herausgearbeitet. Dabei werden Abgrenzungen gegenüber den technikhistorischen Erfindergeschichten, dem *dynamischen Unternehmer* der ökonomischen Betrachtungsweise und dem "Technik-" und "Technikfolgendeterminismus" der Industriesoziologie deutlich werden. Vorbereitet wird hier der Weg zu einer soziologischen Beschreibung von "*Technik als sozialer Prozeß*". (Weingart 1989a) Das zugrundeliegende Erkenntnisinteresse richtet sich darauf, ein klareres Bild der Verknüpfung von technischem und sozialem Handeln zu gewinnen.

In dieser Arbeit wird der Begriff *technischer Wandel* gegenüber dem in der Innovationsliteratur häufig verwendeten Begriff *technischer Fortschritt* bevorzugt. Einerseits sollen so die normativen Konnotationen vermieden werden, die der Begriff *Fortschritt* lange Zeit mitführte; andererseits soll die in dieser Literatur häufig beobachtbare Engführung - die Festlegung auf Prozeßinnovationen - vermieden werden: Entsprechend den Erkenntnisabsichten der ökonomischen Innovationsforschung wird dort im allgemeinen davon ausgegangen, daß der *technische Fortschritt* besondere Wissensformen einschließt, die entweder ein größeres Volumen oder einen qualitativ höheren Output, bezogen auf eine gegebene Menge von Ressourcen, erzeugen. *Technischer Fortschritt* wird dementsprechend nur als Verbesserung der Prozesse - bezogen auf ein unverändertes Produkt - betrachtet. Das ermöglicht zwar quantitative Analysen zur Rate des technischen Fortschritts, zur Richtung, Diffusion und den Implikationen des *technischen Fortschritts* für den Produktivitätsfortschritt, schließt aber die Produktinnovation aus. Diese ist aber im Kontext technischer Innovation häufig Voraussetzung für die Erhöhung der Volumen und/oder die Verbesserung der Prozesse, bezogen auf eine gegebene Menge von Inputs. Deshalb:

> "*To exclude product innovation from technical progress, especially when we are considering long historical periods, is to play Hamlet without the prince.*" (Rosenberg 1982: 4)

Im Zentrum einer Theorie des technischen Wandels steht die Frage nach dessen Kausalität, nach den verursachenden Faktoren der Technikentwicklung. Schon die Ausformulierung dieser Frage wirft ein wichtiges Problem auf: Läßt sich nach den sozialen Ursachen technischen Wandels so fragen, als ob es einen kategorialen Gegensatz zwischen dem Technischen und dem Sozialen gibt? Und kommt es vom soziologischen Standpunkt aus nicht vor allem darauf an, technisches Handeln als Typus sozialen Handelns und nicht als Entgegensetzung einzuführen? Im folgenden wird argumentiert, daß nur wenn es gelingt, technisches Handeln als einen Typus sozialen Handelns einzuführen, es möglich ist, eine sozialwissenschaftliche Theorie des technischen Wandels zu entwickeln. Offensichtlich müssen einerseits soziale Strukturen (z.B. Arbeitsorganisationen, Tätigkeitsprofile, Tarifverträge) technischen Innovationen (z.B. bei der Einführung neuer Informationstechnik) angepaßt werden; neue Techniken bewirken hier sozial-strukturellen Wandel. Aber andererseits kann man kaum daran zweifeln, daß technische Innovationen auf vermutete Bedarfskonstellationen (z.B. die Erhöhung von Durchlaufzeiten, Bearbeitungsgeschwindigkeiten und Reduktion von Umrüstzeiten, etc.) hin entworfen und entwickelt werden. Organisierte Forschung zielt auf die Strukturierung gesellschaftlicher Bedarfe, wobei Fehlentwicklungen nicht ausgeschlossen sind.[1]

In der klassischen Auseinandersetzung um die determinierenden Quellen des technischen Wandels stehen sich zunächst zwei analytische Betrachtungsweisen gegenüber: Die These von der Eigengesetzlichkeit der technischen Entwicklung und die These der gesellschaftlichen Bedarfsinduktion von Technikentwicklung. In der klassischen Innovationsforschung spricht man von *technology push*-Theorien, wenn die erste Kausalität betont wird, bei Betonung der zweiten von *demand pull*-Theorien (oder auch *market pull*-Theorien). Zwei Gründe sprechen dafür, die klassische Kontroverse als Ausgangspunkt für die Erarbeitung eines neuen Modells zu wählen: Alle weiterführenden Innovationstheorien gehen von diesen beiden Positionen aus; modelltheoretische Probleme ergeben sich dabei aus der Frage, wie genau *Push*- und *Pull*-Theorien miteinander zu kombinieren sind; genauer: wie technischer und sozialer Wandel ins Verhältnis gesetzt werden kann. Ein zweiter Grund liegt in der technologiepolitischen Bedeutung der klassischen Ansätze. Als "*implizite Theorie in der Politik*" (Hoffmann 1994) ist ins-

---

[1] Wie das Beispiel der in den achtziger Jahren propagierten CIM-Lösung eindruckvoll (und kostspielig) belegt.

besondere das *Push*-Modell in zahlreichen technologiepolitischen Maßnahmen zu erkennen. Die Praxis der (infragegestellten) Theorie ist also keineswegs überwunden.

Zunächst werden die theoretischen Absichten und Stärken beider Ansätze (*demand pull*, *technology push*) daraufhin überprüft, inwieweit sie modelltheoretisch konsistent und für eine sozialwissenschaftliche Erklärung des technischen Wandels präpariert sind. Es wird herausgearbeitet, daß in der strikten Variante der *technology push*-Theorie die gesellschaftliche Entwicklung als weitgehend durch technikimmanente Optimierungskriterien des *Fortschritts* konzipiert wird, ohne daß es gelingt, solche Kriterien unabhängig von sozialen Kontexten zu formulieren. In der strikten marktwirtschaftlichen Variante wird Technik dagegen als ein Stoff verstanden, der (von einigen Naturkonstanten abgesehen) allein geformt wird durch die selektiven Kräfte der Berechnung von Kosten und Gewinnen oder allgemeiner: der Abschätzung relativer Vor- und Nachteile. Hier gelingt es nicht, eine genaue Abbildung (zukünftiger) Technik auf (gegenwärtige) Gewinn-Verlust-Erwägungen durchzuführen.

Die Alternativen, entweder die Technik als Motor gesellschaftlicher Modernisierung einzuführen oder die Marktentwicklung (Bedürfnisse) als Agens technischen Erfindertums anzusehen, fokussieren die Aufmerksamkeit auf den in diesen Modellen verwendeten Technikbegriff. Denn entweder wird Technik als eine unergründliche Quelle eines quasi naturwüchsigen Erfindungsreichtums hingenommen (z.B. in den Varianten *gefrorene Naturwissenschaft* oder *vergegenständlichte Natur* bei Marx), oder die Technik wird entschlüsselt als Reagens der marktwirtschaftlichen Nachfragestrukturen. In beiden Fällen bleibt die Technik von der Analyse sozialer Strukturen und Prozesse entkoppelt.

Einer an sich wünschenswerten Kombination beider Ansätze zu einer Theorie des technischen Wandels stehen zunächst begriffliche Probleme entgegen, die nicht leicht zu lösen sind: Die in der Sache naheliegende Verkettung von Ursache und Wirkung in dem Sinne, daß technischer und sozialer Wandel einander wechselseitig Ursache und Wirkung sind, sieht sich dem Problem gegenübergestellt, daß die Technik einerseits als Ursache andererseits als Wirkung eingeführt werden müßte. Wie zu zeigen sein wird, kreist die gegenwärtige innovationstheoretische Debatte exakt um die Entparadoxierung dieses Problems.

Der Vorbereitung des möglichen Auswegs - der dynamischen Modellierung technischen und sozialen Wandels als ineinandergreifender Verkettung von technischen Entwürfen mit rückgekoppelten Bedürfnisstrukturen -, dient die Rekonstruktion eines

historischen Beispiels über die Entstehung einer Industriebranche. (Abschnitt 3) Mit Rosenberg (1975; 1982) läßt sich hier zeigen, wie durch die von ihm beschriebene "*technologische Konvergenz*" und "*vertikale Desintegration*" eine Prozeßdynamik in Gang gesetzt wird, die ständig neue Ungleichgewichte verursacht und damit zum weiteren technischen und - wie hinzuzufügen sein wird - zum sozialen Wandel beiträgt. Mit der Kategorie rückgekoppelter Lernprozesse, die Rosenberg innerhalb unterschiedlicher Abteilungen einer innovierenden Organisation und zwischen den Herstellern und Verwendern einer Innovation feststellt, werden soziale Schließungsprozesse und Pfadabhängigkeiten technischer Entwicklungslinien rekonstruierbar.

Die *Evolutionäre Ökonomie*[2] hat - ohne unmittelbar an Rosenberg anzuknüpfen - auf dem erreichten Niveau weitergearbeitet. Diese Forschungsrichtung entwickelt einerseits in kritischer Auseinandersetzung mit den Push/Pull-Theorien, andererseits in Analogie zum Kuhnschen "Paradigma"-Konzept eine neue Theorie des technischen Wandels. Auch wenn, wie sich erweisen wird, mit diesem Konzept neue Engführungen und Probleme verbunden sind, bildet die evolutionäre Betrachtungsweise des technischen Wandels den entscheidenden Schritt auf dem Weg zur Formulierung eines dynamischen Modells technischen Wandels. (Abschnitt 4) Von hier aus sind wichtige Indikatoren für eine empirische Analyse von Innovationsprozessen zu gewinnen.

2. Die klassische Kontroverse: *demand pull-* und *technology push-*Theorien des technischen Wandels

Beschreibungen über das Verhältnis von technischem und sozialem Wandel anzufertigen, setzt voraus, eine Referenz zu erzeugen. Diese Referenz, d.h. der Kontext, in dem im folgenden Modelle des technischen Wandels diskutiert werden, bildet die Frage nach dem sozialen Charakter der Erzeugung neuer Techniken. Bei der Diskussion geht es dementsprechend um die Stärken und Schwächen der Modelle für eine weiterführende Theorie technischer Handlungskoordination als eine Form sozialer Handlungskoordination. In einer sehr allgemeinen Weise lassen sich zwei Fragestellungen polarisieren: Strukturiert und erzeugt sozialer Wandel technischen Wandel oder umgekehrt technischer Wandel sozialen Wandel? Aus soziologischer Perspektive ist diese Fragestellung

---

2 Vgl. Nelson, Winter 1977; 1982; Dosi 1982; Dosi 1988a; 1988b; Dosi, Nelson 1994; Freeman, Soete 1990.

zurückzuweisen, da sie einen kaum haltbaren Gegensatz zwischen dem Technischen und dem Sozialen mitführt. Deshalb ist die Frage dahingehend zu präzisieren, wie technische Handlungen als soziales Handeln rekonstruiert werden können und in welchem Verhältnis technisches Handeln zum sozialen Wandel steht. Bevor diese integrierende Sichtweise aufgenommen wird, werden nun die beiden Ausgangsmodelle dargestellt.

2.1 *Demand pull*-Theorie des technischen Wandels

Die Nachfrage nach Produktionsgütern durch die Anwender ruft nach der *demand pull*-Theorie entsprechende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten und damit Innovationen hervor. Der Markt lenkt - so die theoretische Konstruktion - quasi automatisch die gewinnorientierten Forschungsaktivitäten auf ein bestimmtes Problem, das - weil erwartbar profitabel - wahrscheinlich einer Lösung zugeführt wird. (Vgl. Schmookler 1966)

Ausgangspunkt der *demand pull*-Theorie ist, vergleichbar den klassischen ökonomischen Theorien, die Annahme von einem Primat der Bedürfnisse.[3] Die Bedarfsinduktion repräsentiert in diesem Modell diejenigen Informationen von Anwendern oder Konsumenten, die Lücken und Mängel der Bedarfsdeckung signalisieren. Diese wiederum lösen Handlungsaktivitäten von Unternehmen aus, welche nach dem Passieren des Filters von Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu Innovationen führen.[4] Neuentstehende Bedürfnisse werden demnach durch den Marktmechanismus optimal befriedigt (*allokative Effizienz*). Mit zunehmender Befriedigung dieser Bedürfnisse durch neue Produkte entstehen neue Bedürfnisse (Marktsignale), die wiederum entsprechende Innovationsaktivitäten auslösen. Bestehende Ungleichgewichte am Markt werden immer wieder in

---

3 "*Ausgangspunkt aller wirtschaftstheoretischen Untersuchungen ist die bedürftige Menschennatur. Ohne Bedürfnisse gäbe es keine Wirtschaft, keine Volkswirtschaft, keine Wissenschaft von derselben.*" (Menger 1923: 1)

4 Schon die Prämisse des Filters *Wirtschaftlichkeitsberechnungen* legt nahe, eine Differenz zwischen Bedürfnissen und *market pull* vorzunehmen. Seriöserweise müssen empirische Untersuchungen zur Bedarfsinduktion technischer Innovation diese Differenz ausweisen: "*In order to retain its analytic content, market demand must be clearly distinguished from the potentially limitless set of human needs. Demand, as expressed in and mediated through the marktplace, is a precise concept, denoteing a systematic relationship between prices and quantities, one devolving from the constellation of consumer preferences and incomes. To be taken seriously, demand pull hypotheses must base themselves upon this precise concept, and not the rather shapeless and elusive notion of 'needs'.*" (Rosenberg 1982: 229)

Gleichgewichtszustände transferiert, da eine optimale Allokation von Gütern durch den Preismechanismus gewährleistet ist.

Die Erklärung der sozialen Konstruktion von Technik ist zwar aus dieser Modellperspektive nicht möglich, aber auch nicht erforderlich. Mit relativ sparsamen Mitteln wird eine Erklärung - nicht der Abfolge der Techniken - aber des technischen Wandels erreicht: Veränderte Bedürfnisse werden als unabhängige Variable eingeführt.[5] Im klassischen Evolutionsmodell repräsentieren die Bedürfnisse die *blinde Variation*.

Diese Variation tritt als ungelöstes Problem auf dem Markt auf. Neue Techniken sind Lösungsangebote für vorgegebene Probleme. Der Markt selegiert die Angebote durch positive und negative Verstärkung der Nachfrage, bis über den Standardmechanismus der klassischen Markttheorie, das Erreichen des Grenznutzens, ein neuer stabiler Gleichgewichtszustand erreicht ist. Technischer Wandel wird in diesem Evolutionsmodell erklärt als eine Funktion von Bedürfnisvariation und Marktselektion. Technischer Wandel wird in Abhängigkeit zum Allokationsmechanismus des Marktes konzipiert.[6] Insbesondere in den sechziger und siebziger Jahren wurden zahlreiche Studien unternommen, um einen solchen Nachweis zu erbringen.

Myers und Marquis (1969) untersuchten 567 Innovationen in fünf unterschiedlichen Industriebereichen und kamen zu der Schlußfolgerung: "*Recognition of demand is a more frequent factor in innovation than recognition of technical potential.*" (60) Langrish et al. (1972) untersuchten 84 detailliert dokumentierte Innovationsfälle und führten ihre Ergebnisse als Beleg für die Pull-These an. Im Projekt HINDSIGHT (Office of the Director of Defense Research and Engineering 1969) wurden die Ergebnisse der Investitionen des Verteidigungsministeriums für Wissenschaft und Technologie analysiert und daran anschließend untersucht, welche Managementstrukturen förderlich sein könnten. Ergebnis dieser häufig zitierten Studie war die Betonung von *demand pull*-Faktoren für die technische Entwicklung.

Das Projekt SAPPHO analysierte erfolgreiche und nicht erfolgreiche Innovatio-

---

5 Deren weitere Erklärung dann entweder in die Anthropologie oder in den modernen Bedürfnisindividualismus führt.

6 Das könnte auch erklären, warum in zahlreichen volkswirtschaftlichen Lehrbüchern bzw. Nachschlagwerken der Begriff 'Innovation' nicht auftaucht. Die makroökonomische Theorie verweist die theoretische Beschäftigung mit Innovationen an die Mikroökonomie. Allein unter dem Begriff 'technischer Fortschritt' finden sich in wirtschaftswissenschaftlichen Kompendien vereinzelte Bemerkungen zum Thema Innovation.

nen. Es wurden 29 Paare mit je einer erfolgreichen und einer nicht erfolgreichen Innovation in den Branchen "Chemische Industrie" und "Industrie für wissenschaftliche Instrumente" verglichen. Gefunden wurden fünf allgemeine Erklärungen für einen Innovationserfolg: In der Reihenfolge ihrer Signifikanz haben Unternehmen bessere Innovationserfolge durch:

- ein besseres Verständnis von Anwenderbedürfnissen,
- eine größere Beachtung der Marketing-Prozesse,
- einen effektiven Gebrauch von Technologien (im Sinne technologischen Wissens), die unternehmensextern und bei intensiver Kommunikation mit wissenschaftlichen Instituten erzeugt wurden,
- effiziente Entwicklungsarbeiten,
- erfahrene Manager mit hoher Autorität. (Vgl. Centre for the Study of industrial Innovation (Hrsg.) 1972, zit. nach Zörgiebel 1983: 432f.)

Rosenberg und Mowery (1982) kritisieren allerdings die theoretisch-methodologischen Instrumente und die Schlußfolgerungen dieser Studien. Sie stellen heraus, daß die Studien unterschiedliche methodologische Zugänge benutzen, ihre Untersuchungen in verschiedenen Phasen des Innovationsprozesses anlegen, eine sehr breite, zum Teil diffuse Begründung ihrer abhängigen Variable (Innovation) benutzen und explizit interpretierbare *Push*-Faktoren aus den Schlußfolgerungen herausnehmen. (228ff.) Die zusammenfassende Bewertung lautet:

> *"Even within the flawed conceptual and methodical framework of these empirical studies, then, the 'demand pull' case is admittedly weakest for the most significant innovations. Does an explanatory schema retain much usefulness when it is contradicted by the most important occurences in the set of events that purports to illuminate?"* (229)

Der beanspruchten Geschlossenheit des Modells stehen also einige Erklärungsdefizite gegenüber, die nun systematisch benannt werden: Erstens sind die Erklärungsleistungen nur im Rahmen von ex post-Analysen wirksam, d.h. nachdem ein Innovationsprozeß bereits als erfolgreich angesehen werden kann. Für die ex ante-Erklärungen (und Prognosen) gilt: Marktbeobachtung allein kann die vielfachen Unsicherheiten hinsichtlich der Technikentwicklung während der Phasen der Ideenfindung, Konzeptionierung,

Prototyperstellung, seriellen Produktion und Durchsetzung nicht beseitigen.[7] Selbst eine reine Auftragsfertigung beseitigt diese Unsicherheit nicht, sondern grenzt nur die Autonomie des Technikherstellers ein. (Vgl. Häusler 1989) Ein Kundenauftrag geht zwar normalerweise von konkreten Bearbeitungs- und Fertigungsproblemen eines Anwenders aus, diese können in einem Pflichtenheft definiert werden, doch die Frage nach dem Sachcharakter der Technik und die Frage danach, wie die Transformation des Problems in ein technisches Artefakt gelingt, ist damit keineswegs schon hinreichend beantwortet.

Ein zweiter Einwand verschärft den ersten: Selbst bei ex post-Erklärungen ist eine klare Zurechnung technischer Entwicklungslinien auf Bedürfniswandel nicht durchführbar. Anders ausgedrückt: Bei weitem nicht alle technischen Neuerungen lassen sich in konkreter und strikter Weise in das Schema von vorgegebener Problemstellung und befriedigender Problemlösung einordnen. Man denke hier etwa an Entwicklungen, die als Zufallsprodukte unternehmerischen Handelns entstehen, z.B. Kuppelprodukte in der Chemieindustrie, "Dual use"-Produkte der Rüstungs- und Elektronikindustrie usw., bei denen sich erst nachträglich, d.h. nach der Produktentwicklung ein Markt bildet. Dieser Einwand greift also auch die ex post-Leistungsfähigkeit des Modells an.

Drittens wird kritisch festgestellt, daß das Modell in praktischer Hinsicht nichts leistet zur Erklärung der Gestaltung nachfrage-determinierter Technik. Die kognitiven Unsicherheiten und die kalkulatorische Unbestimmtheit während der Konzeption und der Entwicklung einer neuen Technik sowie die notwendigen inner- und interorganisatorischen Voraussetzungen, die der Umsetzung von Nachfrage in ein konkretes technisches Artefakt dienen, bleiben außerhalb der Reichweite des Modells.[8]

> *"The basic argument however maintains that there generally exists a possibility of knowing a priori (before the invention process takes place) the direction in which the market is pulling the inventive activity of producers, and furthermore that an important part of the signalling process operates through movements in relative prices and quantities."* (Dosi 1983: 81)

---

7 Im Zuge informationstechnischer Rationalisierung verschärft sich dieses Problem, da die Informationstechnik im steigenden Maße eine kontextabhängige Auslegung erfordert.

8 Schon Knight (1921) unterschied in diesem Zusammenhang zwischen (versicherbarem) Risiko, für das objektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen angegeben werden könnten und (nicht versicherbarem) Risiko, für die lediglich subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen anzunehmen sind. Aufgrund der Einzigartigkeit von Innovationen und der Abwesenheit eines klaren Kausalzusammenhangs vom Problem und Lösung besteht für eine objektive Wahrscheinlichkeitsverteilung keine Grundlage.

Wenn nun Innovationen nicht hinreichend gut (nicht ex ante und nicht einmal ex post) als quasi-mechanische Anpassungen an die auf Märkten geäußerten Bedürfniskonstellationen erklärt werden können, dann ist dies ein Ausdruck der Unterkomplexität von *demand pull*-Theorien. Unterkomplex heißt hier - und damit fasse ich die Kritik zusammen -, daß die *demand pull*-Theorie nicht erklären kann, wie

- die unternehmerische Innovationsaktivität in bezug auf die Befriedigung von Bedürfnissen strukturiert ist,
- die (Markt-)Informationen selegiert werden,
- die kognitiven und kalkulatorischen Unsicherheiten organisational bewältigt werden und
- die Transformation eines Problems in neue Technik gelingt.

2.2 *Technology push*-Theorie des technischen Wandels

Größere Bedeutung für die Genese von Techniken hat dem Anschein nach die im Anschluß an Schumpeter (1912) formulierte *technology push*-Theorie, die Bedarfsmomenten eine sekundäre Stellung zuweist, während die Technikgenese einen autonomen Status (als *black box*) besitzt. Hier wird auf die ökonomische Indeterminiertheit der Technikgenese rekurriert - aus der Sicht der Ökonomie handelt es sich um einen autonomen Prozeß.[9]

Dieses Postulat umreißt aus der ex ante-Perspektive der Genese neuer Techniken die basale Unsicherheit für die innovierenden Unternehmen. Damit wird einerseits ein Zugang zu organisationssoziologischen Fragestellungen geebnet, andererseits der monetäre Reduktionismus von *demand pull*-Theorien überwunden.

Innerhalb der ökonomischen Innovationstheorien ist es zweifellos die Tradition von Marx, die der Kategorie des technologischen *Drucks* auf die ökonomische und gesamtgesellschaftliche Entwicklung systematische Bedeutung einräumt.[10] Für Marx war

---

9 "('Technology push'-Theorien, U.K.) ... betonen die charakteristische Unsicherheit des 'technischen Fortschritts', die es ausschließt, Innovationen als allein marktgelenkt zu kennzeichnen." (Dierkes 1987: 159)

10 "*In der kapitalistischen Gesellschaft ... wo der gesellschaftliche Verstand sich immer erst post festum geltend macht, können und müssen ... beständig große Störungen eintreten.*" (Marx 1974: 317)

die technologische Dynamik direkt mit der historischen Entstehung kapitalistischer Institutionen (z.B. private Eigentumsrechte) verbunden. Marx wies immer wieder auf den Zusammenhang von Produktivkräften und Produktionsverhältnissen hin. Er behauptete, daß die Basis der modernen Industrie revolutionär sei, da sie den Produktionsprozeß kontinuierlich verändere. Diese Dynamik wird von Marx weiter konkretisiert, indem er zunächst zwischen der Kapitalgüterproduktion und der Konsumgüterproduktion unterscheidet und daraufhin deren Beziehungen systematisch untersucht. Von hier gewinnt er ein Argument für die Innovationsdynamik des Kapitalismus: Die ständige Entwertung neuer Produkte durch permanente Verbesserungen, die den physischen und moralischen Verschleiß der neuen Produkte enorm erhöhen (vgl. Marx 1974: S. 123f.), erzwingen ein beständiges Ungleichgewicht im gesamtgesellschaftlichen Reproduktionsprozeß. Stellt sich ein routinisierter Produktionsprozeß für Kapitalgüter ein, der die Produktverbesserungen aufgenommen hat, verbilligt sich das Produkt wiederum, weil nun die Herstellungskosten wesentlich geringer ausfallen und Imitatoren auf den Markt drängen. Damit berührt Marx nicht nur den Punkt, in welcher Weise die kapitalistische Ökonomie neue Produkte generiert, sondern auch die (soziale) Zeitperspektive, die die Diffusion neuer Produkte umfaßt.[11]

Wohl aber erst durch Schumpeter (1912) ist der Ansatz innerhalb der nationalökonomischen Diskussion hoffähig geworden. Im Gegensatz zur klassischen Ökonomie ging es Schumpeter nicht um die Erklärung von Marktgleichgewichten, sondern - ähnlich wie Marx - um eine theoretische Erklärung der Dynamik des Kapitalismus.[12] Märkte sind nach Schumpeter einer Innovationsdynamik ausgesetzt und befinden sich dadurch typischerweise im Ungleichgewicht. Dafür sorgen diejenigen Unternehmer, die Produkt- und Prozeßinnovation betreiben und damit neue Techniken aktiv in die Konsum- und Kapitalgütermärkte pressen, auch auf das Risiko wenig transparenter Bedarfskonstellationen hin.

---

11 Soziologisch beachtenswert an der Marxschen Argumentation erscheint die explizite Begründung des technischen Wandels aus den gesellschaftlichen Strukturen heraus. Es ist die Dynamik gesellschaftlicher Selbstorganisation, die das wirtschaftliche und technische Handeln prägt und nicht eine außersoziale Natur wirtschaftlichen Handelns: "*Der Wirtschaftstheorie wird (von Marx, U.K.) der Anspruch bestritten, eine extra-soziale Objektivität zu vertreten. Sie reflektiert nur die Logik eines sozialen Konstrukts.*" (Luhmann 1992: 23)

12 Vgl. zu den innovationstheoretischen und institutionellen Koinzidenzen und Differenzen in den Arbeiten von Marx und Schumpeter den Überblick in Elliott (1980).

Die Erfolge dieser risikofreudigen Unternehmer mit dem Einsatz neuer Wirtschaftsgüter und Fertigungsverfahren schlagen sich als Monopolprofite nieder. Imitatoren sorgen für die Verbreitung dieser Innovationen, es kommt zum Verschwinden der Monopolprofite und zur Durchsetzung neuer Produktionsmethoden. In dieser Boomphase verringert sich der Innovationsanreiz, da durch reine Imitation hohe Gewinne erzielt werden können. In der Phase der Abschwächung werden risikofreudige Unternehmer erneut tätig. Die Produktionsstruktur eines Industriesystems verändert sich mit der Folge, daß weitere Produkte und Verfahren erzeugt werden.[13] Die Argumentation führt also zu der Auffassung, daß neue Erfindungsaktivitäten, die durch sogenannte *dynamische Unternehmer* (Schumpeter) in industriell verwertbare Innovationen umgesetzt werden, zu dauernden Marktungleichgewichten führen.[14] Der Prozeß *schöpferischer Zerstörung* ist nach Schumpeter die conditio sine qua non des Kapitalismus.[15]

Technik und Technologie sind in diesem Modell ökonomisch unterdeterminiert. In evolutionstheoretischer Terminologie nehmen nun gerade sie die Position der unabhängigen Variablen ein: Eine frei variierende Quelle ständiger Unruhe. Die Unruhe wird *gebändigt* durch die Zyklenstruktur der Innovationsprozesse, die durch die Kräfte des Marktes bedingt ist. Die Konzentration auf dieses Zusammenspiel zwischen technologisch aufgeschaukeltem Ungleichgewicht und ökonomisch bedingter Tendenz zum

---

13 Insbesondere Gerhard Mensch (1971; 1975) hat in den siebziger Jahren versucht, die Existenz solcher Konjunkturwellen (Invention, Innovation, Imitation und Diffusion) empirisch nachzuweisen.

14 Marx ging ebenfalls von der Voraussetzung aus, daß nicht Marktgleichgewichte den Kapitalismus kennzeichnen, sondern dieser permanent Ungleichgewichte erzeugt, die nur in Krisenperioden kurzfristig Gleichgewichtszustände hervorbringen: "*Die Krisen sind immer nur momentane gewaltsame Lösungen der vorhandenen Widersprüche, gewaltsame Eruptionen, die das gestörte Gleichgewicht für den Augenblick wiederherstellen. Der Widerspruch, ganz allgemein ausgedrückt, besteht darin, daß die kapitalistische Produktionsweise eine Tendenz einschließt nach absoluter Entwicklung der Produktivkräfte ... während sie andererseits die Erhaltung des existierenden Kapitalwerts und seine Verwertung im höchsten Maß ... zum Ziel hat.*" (Marx 1974: 259)

15 Eine frühe Kritik an dieser zentralen Annahme Schumpeters über den Prozeß der *schöpferischen Zerstörung* findet sich bei Strassmann (1959), der zeigen konnte, daß in der Periode zwischen 1850 und 1914 alte und neue Techniken für eine längere Periode koexistierten. Auch aktuelle Beispiele, wie die schon länger andauernde Koexistenz konventioneller und mikroelektronisch basierter Werkzeugmaschinen unterstützen diese Kritik und fordern dazu heraus, das Verhältnis von sogenannten Basisinnovationen und darauf bezogenem Wirtschaftswachstum neu zu betrachten.

Gleichgewicht zu einer Zyklenstruktur der Innovation wird sich evolutionstheoretisch als sehr produktiv erweisen. (Vgl. Abschnitt 4)

Aber auch gegen den *technology push*-Ansatz lassen sich Einwände formulieren. Vor allem ist es unbefriedigend, den Faktor der Invention bzw. Technologie als eine *blinde Variation* einzuführen, denn offen bleibt dann, auf welchem sozialen Boden der Wandel nun zu lokalisieren ist. Das Saysche Theorem, nach dem sich jedes Angebot eine entsprechende Nachfrage schafft, ist sicherlich zu allgemein und leicht widerlegbar. Unternehmensinterne und branchenspezifische Bedingungen ebenso wie Marktveränderungen im Zeitablauf und politische, rechtliche und kulturelle Faktoren können nicht einfach als unproblematisch zur Seite geschoben werden; Technikgenese unterliegt vielfachen Gestaltungsfaktoren. Unbefriedigend ist deshalb auch die häufig in Innovationstheorien schumpeterianischer Provenienz[16] behauptete Bedeutung sogenannter Basisinnovationen für weitere Innovationsaktivitäten und das Wirtschaftswachstum.[17]

Um gegenüber diesen Faktoren die Unabhängigkeit der Technikdynamik durchzuhalten, bliebe nur die kausale Verknüpfung der Technikgenese mit der Wissenschaft. Wenn neue Techniken als Derivate wissenschaftlicher Entdeckungen entschlüsselt werden, läßt sich das Argument der markt- und damit nachfrageunabhängigen Technikentwicklung durchhalten. *Blind* wäre die Technik dann nicht hinsichtlich ihrer Herkunft, sondern hinsichtlich ihrer Verwendung. Sofern man von Technologie als replizierbarem Wissen redet, ist diese Rückbindung an die Wissenschaft (Technologie als Zweige der konstruktiven Wissenschaften) begründet.[18] Aber unvermeidlich kommt dann - erstens - die Differenz zwischen Technologie und Technik ins Spiel und damit die empirisch unabweisbare Feststellung, daß neue Techniken sich nur zu einem kleinen Teil neuen (wissenschaftlichen) Technologien verdanken. Weiterhin ist die unterstellte Kausalität

---

16 Gemeint ist hier die "Theorie der langen Wellen" (Kondratieff 1926; Kleinknecht 1984; Mensch 1975).

17 Rosenberg (1982) verweist auf die Debatte um die Bedeutung der Eisenbahn in Amerika für das Wirtschaftswachstum und zitiert Arbeiten von Dan Fogel (1964), der zwar einen Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Eisenbahn und dem Wirtschaftswachstum bestätigt, sich aber energisch gegen das sogenannte "*axiom of indispensability*" wendet. Rosenberg schließt sich dieser Auffassung mit folgenden Worten an: "*In a society that is capable of generating rapid technical progress, no single innovation is indispensable. However, the reason for this is not that individual innovations do not matter, in some absolute sense, but rather that such a society can readily generate substitute innovations.*" (29)

18 Vgl. hierzu: Krohn, Rammert 1985.

eines Kaskadenmodells technischer Innovation, von der (Grundlagen-)Wissenschaft über die Technologie zur Innovation problematisch, da diese in zahlreichen Studien eindrucksvoll widerlegt worden ist. (Böhme, Daele, Krohn 1978; Grazis 1979; Rosenberg 1982; Grupp 1992)[19] Neben den Zweifeln an der Kausalitätsannahme (Forschung führt zur Innovation) des *technology push*-Modells, läßt sich auch die Proportionalitätsannahme (mehr Forschung, mehr Innovation) bezweifeln, da eben auch umgekehrt argumentiert werden kann, daß angewandte Technik einschlägige wissenschaftliche Disziplinen anregt und zu vermehrten Forschungsanstrengungen führt. So belegen technikhistorische Studien, daß wissenschaftliche Begründungen und Modelle häufig den Produktentwicklungen folgen und nicht vorausgehen. Beispielweise verdankt der wissenschaftliche Fortschritt sehr viel mehr der Entwicklung der Dampfmaschine als umgekehrt die Dampfmaschine der Wissenschaft. (Vgl. Gillispie 1957) Das Verhältnis zwischen technischer Machbarkeit und naturwissenschaftlicher Berechenbarkeit wird insofern noch komplizierter, wenn als eine weitere Differenz die der Kontrolle und Beherrschbarkeit von technischen Anwendungen eingeführt wird. Genau dies ist das Problem riskanter Technologien, z.B. der Reaktortechnik, der Gentechnik und der Informatik. (Vgl. Krohn, Krücken 1993)

Innovationen sind also nicht nur durch inhärente Faktoren der Technologie analysierbar; vielmehr handelt es sich bei der Technikentwicklung um ein komplexes Geflecht multipler Wirkungszusammenhänge, um eine soziale Strukturiertheit technischer und ökonomischer Problemlagen, in denen vielfältige kulturelle, politische, institutionelle und organisatorische Faktoren wirksam werden. Das Kaskadenmodell des Innovationsprozesses ist ein (zu) simples lineares Modell technischer Entwicklung:

> "*Rückkopplungsschleifen und ähnliche Komplikationen sind in diesem einfachen Ablaufmodell ... nicht zugelassen.*" (Hack 1988: 58)

Durch die Rezeption von *technology push*-Ansätzen läuft man weiterhin Gefahr, ökonomische Bedingungsfaktoren - verstanden als relevante Umwelt der Technikgenese in Unternehmen - zu wenig zu berücksichtigen. (Vgl. auch Dosi 1982) Wichtig und unter-

---

19 "*Durch vielfältige Formen des 'Apparatebezugs' und der Abhängigkeit von Instrumenten sowie durch eine Vielzahl von technisch generierten Problemen, die die wissenschaftliche Theoriebildung vorangetrieben haben, ist das Verhältnis (zwischen Wissenschaft, Technologie und Innovation, U.K.) in erheblichen Maße kompliziert worden.*" (Hack 1989: 25)

suchenswert erscheinen gerade die (re-)konstruktiven Bemühungen der Unternehmen hinsichtlich ihrer Marktumwelt ("*selective environment*", Dosi 1982), ohne in ein mechanistisches Verständnis von *demand pull* oder *technology push* zu verfallen.

Damit zeichnen sich deutliche Grenzen der Erklärungskraft von *demand pull*- und *technology push*-Ansätzen für die sozialwissenschaftliche Technikforschung ab. Ein bedürfnisabhängiger Technikbegriff im Sinne des *demand pull*-Ansatzes ist aus den genannten Gründen unzulänglich. Aber auch ein bedürfnisunabhängiger Technikbegriff im Sinne eines *technology push*-Ansatzes kann die Lücken nicht füllen. So liegt es nahe, den Ausweg in einer Kombination der Ansätze zu suchen.[20] Aus der Sicht der Technikgeneseforschung könnten *demand pull*-Ansätze dazu dienen, Prozesse kontinuierlicher Technikentwicklung zu konzeptualisieren; *technology push*-Ansätze ließen sich verwenden, um diskontinuierliche Prozesse zu fassen. Dies ist in der Tat eine gegenwärtige Absicht der Techniksoziologie. So weist Weingart (1989b) auf die artifiziell herbeigeführte Dichotomie zwischen *demand pull*- und *technology push*-Ansätzen hin, indem er die Singularität des Erfindungsaktes in Frage stellt. Die Innovationstätigkeit ist immer schon reflexiv auf die Antizipation von Marktlücken oder auf das Aufsuchen von Schwachstellen bestehender Artefakte angelegt. Ausgangspunkt bleibt dabei die Vorgeschichte in Gestalt vorgängigen technischen Wissens, an das angeknüpft wird. Nur in seltenen Fällen gelingen weitreichende Basisinnovationen, die den Rahmen des bisherigen Wissens sprengen. Dennoch wirkt die Entwicklungstätigkeit über den unmittelbaren Entwicklungskontext hinaus und verändert Präferenzen und Wirklichkeitswahrnehmungen von potentiellen Abnehmern. Damit kommt es auch zu einer Neuinterpretation bestehender Bedürfnisstrukturen und Deutungskontexte:

> "*Das vermeintlich entgegengesetzte Phänomen des 'technology push' ist mit dem 'market pull' in der Regel rückgekoppelt: Eine Erfindung kann den Deutungskontext wirtschaftlicher Subjekte am Markt (ebenso wie den politischer Institutionen) verändern, dadurch eine zentrale Stellung im ökonomischen Deutungskontext erlangen und so die Entwicklung zu einem größeren System beginnen.*" (Weingart 1989b: 187)

---

20 Diese Perspektive wird auch in der ökonomischen Fachliteratur vertreten, die nach der Kontroverse über die Dominanz der *demand pull*- bzw. *technology push*-Hypothese zu dem Ergebnis kommt, "... *that neither hypothesis alone can account for the direction of innovative activity - it is the interaction of technology opportunity and economic opportunity that is of ultimative importance.*" (Jovanovic, Rob 1987: 63)

Diesem Integrationsanliegen gegenüber ergeben sich aber begriffliche Schwierigkeiten: Wie zu sehen war, sind beide Ansätze evolutionstheoretisch konsistent - aber ihre Kombination ist es nicht ohne weiteres. Denn Technik müßte zugleich als abhängige und unabhängige Variable eingeführt werden. Demgegenüber gilt es, einen Theorierahmen zu entwickeln, der die beiden Ansätze nicht nur reflexiv aufeinander bezieht, sondern deren *Stärken* aufnimmt und die jeweiligen *Schwächen* zurückweist und insbesondere die zu enge Klammer der Alternativen Marktabhängigkeit (Bedarfsinduktion) versus Erfindertätigkeit (autonome Induktion) überwindet. Mit einer einfachen Kombination erreicht man dementsprechend wenig.

Wenn die oben aufgestellte Behauptung beibehalten wird, daß technischer und sozialer Wandel einander Ursache und Wirkung sind, dann ist zu vermuten, daß die theoretische Bearbeitung und empirische Untersuchung dieser Wechselwirkung ein Schlüssel zum Erfolg sein kann.[21] Eine Lösung kann der Versuch einer dynamischen Modellierung bringen. Darunter sollen Ansätze verstanden werden, in denen Ursachen und Wirkungen in rekursiver Weise verknüpft sind, so daß die Veränderungen, die die Veränderung einer Variablen bewirkt, wiederum die Veränderung dieser Variablen bewirken. Eine solche zyklische Verknüpfung von Variablen hat im allgemeinen eine nicht-lineare Prozeßdynamik und das beschriebene System operiert im Ungleichgewicht (dafür sorgen bestimmte Parameter, die das System *antreiben*). Solche Ansätze stehen also dem Schumpeter-Ansatz näher als den marktorientierten Gleichgewichtmodellen. Dementsprechend ist es nicht nötig, einen kategorialen Unterschied zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen zu machen, wenn diese in zyklischer Verknüpfung einander Ursache und Wirkung sind.

Weiterhin geht es um die Entwicklung eines Technikbegriffs, der diese zyklische Verknüpfung ermöglicht. Ansatzpunkt dafür ist die Modifikation des Theorems von Say: Zwar verschafft sich nicht jede Technik ihre Nachfrage, aber alle Techniken haben in dem Sinne eine bedürfnisgestaltende Funktion, daß schon in ihrer Konzeption - also im konstruktiven Entwurf - ein neuer Verwendungskontext antizipiert wird. Neue Techniken sind so zwar Variationen, aber keine blinden, sondern solche, in denen

---

21 Forschungen, die sich dieser Aufgabe stellen, lassen sich durch die Begriffe *Evolutionäre Ökonomie* und *Technikgeneseforschung* kennzeichnen. Damit sind alle Untersuchungen gemeint, die sich für die sozialen Prozesse der Herausbildung neuer Techniken und die in ihnen angelegte Formung der Verwendungskontexte interessieren.

Bedürfnisvariationen mitentworfen werden. Diese Entwürfe können aus unterschiedlichen Gründen fehlschlagen (einerseits aus Gründen fehleingeschätzter Konzeptualisierung, andererseits aus Gründen ungünstiger Marktkonstellationen); insofern haben alle Innovationsprozesse einen antizipatorischen Charakter. Das unternehmerische Risiko, neue Techniken in den Markt zu pressen, ist ausdrückbar in der Bandbreite dieser Unsicherheit: Je riskanter die Vermutungen über die Veränderungen der Bedürfnisstruktur und damit der technikverwendenden Handlungsmuster sind, desto *experimenteller* ist der Versuch.

Der modelltheoretisch wichtige Punkt ist also, daß die Bedürfnisstrukturierung eine Sache des technischen Entwurfes ist. Gerade darin besteht die Rückkopplung zwischen technischer Variation und Bedürfnisvariation. Die gegenläufige Verknüpfung zwischen Bedürfnisvariation und technischer Variation, durch die die Zyklizität des Modells erreicht wird, steht im Sinne des Nachfragemodells ohnehin bereits zur Verfügung. Mit einer solchen nicht-linearen Prozeßdynamik verläßt man auch den Boden des klassischen Darwinismus, denn die darwinistische Grundformel der blinden oder zufallsbedingten Variation verbunden mit einer systemisch wirkenden Selektion ist nicht anwendbar, wo es keine Möglichkeit gibt, Variation und Selektion exakt voneinander zu trennen. (Vgl. hierzu Krohn, Küppers 1989b)

In den folgenden Überlegungen greife ich zunächst die These der "*technologischen Konvergenz*" von Rosenberg (1975) auf, weil sie es ermöglicht, sich aus historischer Sicht dem technischen Wandel zu nähern. Diese These - von Rosenberg entwickelt aus einer Untersuchung über die Entstehung der amerikanischen Werkzeugmaschinenbauindustrie - hebt die Bedeutung wechselseitiger Lernprozesse von technikherstellender und -anwendender Industrie für die Technikentwicklung hervor. Eigentlich ist dies eine wirtschaftshistorische Untersuchung mit nur ganz vorsichtigen Schritten zu einer modelltheoretischen Verallgemeinerung.[22] Eine Reinterpretation mit dieser Absicht ist aber lohnend.

---

22 Modelltheoretische Weiterentwicklungen der hier rezipierten Thesen finden sich in Rosenberg (1982) und werden weiter unten diskutiert.

3. Auf dem Weg zu einem dynamischen Modell des technischen Wandels

3.1 *Technologische Konvergenz* und *Vertikale Desintegration*

Historisch separierte sich der Werkzeugmaschinenbau in der Mitte des vorigen Jahrhunderts vom allgemeinen Maschinenbau. (Vgl. auch Mommertz 1981) Bis dahin wurden Werkzeugmaschinen auf einer ad-hoc-Basis von den Endnutzern hergestellt. Mit dem Aufkommen verbesserter Transportsysteme und damit verbesserter Vertriebsmöglichkeiten entwickelten sich spezielle Herstellerunternehmen, die sich auf die Lösung bestimmter Bearbeitungsprobleme spezialisierten.[23]

Rosenberg (1975) geht davon aus, daß im industriellen Modernisierungsprozeß der Investitionsgüterindustrie und vor allem dem Werkzeugmaschinenbau eine entscheidende Rolle zufällt. Den Grund hierfür sieht er in der Transmitterfunktion der Werkzeugmaschinen für technische Verfahren. Warum aber sind es Werkzeugmaschinen, denen diese Bedeutung zukommen soll? Werkzeugmaschinen umfassen die Gruppe von Maschinen, die die traditionelle Metallbearbeitung durch Handhabung einfacher spanabhebender Werkzeugmaschinen (Bohr-, Fräs-, Hobel- und Drehmaschinen) und formender Bearbeitung (Pressen, Stanzen, Biegen etc.) gewährleisten. Für solche Maschinen gibt es zu Beginn der Industrialisierung keinen großen Markt, da die metallverarbeitenden Fabriken alle ihre speziellen lokalen Probleme haben, die sie durch einen handwerklichen Aufbau ihrer Fertigungsanlagen lösen. Die Herstellung spezieller Maschinen geschieht *auf Bestellung*. Die nachfragenden Industrien sind in dem Beispiel der USA vor allem zunächst die Waffenhersteller, dann kommen die Nähmaschinenhersteller hinzu und später die Fahrrad-, schließlich die Autoindustrie.

Diese Nachfrage (*demand pull*) müßte aufgrund der gegebenen Lokalität und Heterogenität der Anwenderbedürfnisse - dies ist ein erster wichtiger Gesichtspunkt -, zu zunehmender Komplexität und Spezialisierung im Maschinenbau führen. Das aber ist gerade nicht der Fall. Statt dessen tritt ein Phänomen auf, das Rosenberg die *technologische Konvergenz* nennt. (221) Es besteht darin, daß - angeregt durch die Nachfrage nach durchaus unterschiedlichen Endprodukten - in den Prozessen der Herstellung der Werkzeugmaschinen eine Konzentration auf die gemeinsamen, weitgehend ähnlichen

---

23 Die Dynamik dieser Spezialisierung hat aber eine entscheidende Bedingung: nur ein entsprechendes Wachstum der Nachfrage kann den Markt erweitern. (Vgl. Piore, Sabel 1989: 32f.)

Züge der Herstellungsprozesse stattfindet. (221) Durch diese Universalisierung der Fertigungsverfahren im Werkzeugmaschinenbau ist - im weiteren dann auch über die Kostensenkung des Herstellungsprozesses - das Angebot (*technology push*) für weitere Anwendungsbereiche ständig gestiegen. Die Ähnlichkeit und Universalität der zur Metallverarbeitung eingesetzten Verfahren ermöglichen demzufolge den Transfer technologischen Wissens von einem Produktionsbereich zu einem anderen. Aufgrund der gleichen technologischen Basis profitiert der Werkzeugmaschinenbau selbst von diesem Wissen. Die Erfahrungen, die z.B. mit der maschinellen Produktion von (Feuer-)Waffen gewonnen werden, können auf den Bau von Nähmaschinen übertragen werden. Auf diesen Transformationsprozeß gründet sich so ein neuer Industriezweig. Die *technologische Konvergenz* resultiert aus der kumulativen Wirkung einer Vielzahl kleinerer Innovationen und aus der Neukombination bestehender Verfahren.[24] Aus der Nähmaschinenindustrie entwickelt sich die Fahrradindustrie, und die hier angewandte Produktionstechnik bildet wiederum eine hervorragende Basis für die spätere Automobilproduktion.

Die Beiträge des Werkzeugmaschinenbaus zur Lösung spezieller Anwenderprobleme waren Werkzeugmaschinen von *"allgemeiner Verwendungsfähigkeit"* (227), die dem ursprünglichen industriellen Verwendungszweck weit übertrafen:

> *"Bei alledem spielte die Werkzeugmaschinenindustrie als Folge der technologischen Konvergenzen sowohl bei der anfänglichen Lösung der technologischen Probleme als auch bei der raschen Übertragung und Anwendung von neu erlernten Techniken auf andere Zwecke eine einzigartige Rolle. Wir meinen, daß die Werkzeugmaschinenindustrie als Zentrum für den Erwerb und die Verbreitung neuer Fertigkeiten und Techniken in einer auf Maschinenproduktion basierenden Wirtschaft angesehen werden kann. Ihre Hauptbedeutung lag daher in der strategischen Rolle für den mit der Industrialisierung verbundenen Lernprozeß. Diese von mir behauptete Rolle ... ist eine doppelte: 1. neue Fertigkeiten und Techniken wurden als Reaktion auf die Anforderungen spezifischer Verbraucher entwickelt und perfektioniert, und 2. sobald diese einmal erzielt waren, erwies sich die Werkzeugmaschinenindustrie als wichtiges Transmissionszentrum für den Transfer neuer Fertigkeiten und Techniken auf dem gesamten maschinennutzenden Sektor der Wirtschaft."*(224)[25]

---

24 Deutlich wird hier, daß Rosenberg technischen Wandel als einen evolutionären Prozeß der infiniten Rekombination technischer Produkte und Verfahren auffaßt und damit der damals einflußreichen These von Gilfillan (1937) folgt.

25 Der Werkzeugmaschinenbau lieferte auch die technologische Basis für die Massenproduktion - und nicht, wie häufig angenommen wird, das Fließband -, denn mit Hilfe des Werkzeugmaschinenbaus war es möglich, wechselseitig austauschbare Teile mit sehr hoher Wiederholgenauigkeit zu produzieren. Auf diese Weise konnten aufwendige Passungsarbeiten bei der Montage der Teile eingespart und damit handwerkliche Arbeitvorgänge aus der Produktion eliminiert

(Fortsetzung...)

Die Stärkung des Maschinenbausektors aufgrund der *technologischen Konvergenz* hat also zur Folge - dies ist ein zweiter wesentlicher Gesichtspunkt -, daß die *vertikale Desintegration* in den metallverarbeitenden (also Werkzeugmaschinen verwendenden) Industrien ansteigt. Die Entwicklung einer bestimmten technologischen Basis der Metallbearbeitung führte zu einer Ausdifferenzierung neuer Produkte und Industriezweige aus einem Kanon bereits bestehender Anwendungsfelder der Produktionstechnik. Mit dieser Diversifizierung ging eine fortschreitende Auslagerung von einzelnen Stufen zur Herstellung eines Endproduktes auf Zulieferer mit spezialisierter Produktionstechnik einher. Eine Prozeßdynamik ist in Gang gesetzt, die sich ständig entfaltet. Industriezweige, die nach dem Zweck der Endprodukte (Schußwaffen, Fahrzeuge) keinerlei Verwandtschaft haben, können sich durch die Rationalisierungseffekte des Maschinenbaus nicht nur gemeinsam entwickeln, sondern auch weiter differenzieren. Dieser einmal in Gang gesetzte dynamische Modernisierungsprozeß der die Nachfrage nach Maschinen in sich spezialisierenden Branchen und dem branchenübergreifenden Angebot an neuen technologischen Lösungen in der Maschinenherstellung verknüpft, wird von Rosenberg bis 1910 verfolgt. Während des gesamten Zeitraums war dieser Mechanismus ein Motor der Wirtschaftsentwicklung. Einen entscheidenden Grund dafür sieht Rosenberg darin, daß die Dynamik nicht gegen einen Gleichgewichtszustand tendiert, sondern im Gegenteil ständig das Ungleichgewicht aufschaukelt.

> *"Zu einer bestimmten Zeit sind die Bestandteile einer Maschine in unterschiedlichem Maße fähig, ihren gegenwärtigen Stand zu vervollkommnen, was von der Kapazität einiger beschränkender Komponenten abhängt. Jede wichtige Verbesserung in der Arbeitsweise eines Bestandteils schafft wahrscheinlich unabhängig davon, ob er augenblicklich eingeschränkt wird oder nicht, gegen das Erreichen einer höheren Leistungsstufe neue Widerstände in Form von Begrenzungen, die durch andere Einzelteile hervorgerufen werden. So tendieren einzelne Verbesserungen dazu, ihre eigenen Probleme zu schaffen, die wiederum weitere Modifikationen und Revisionen erzwingen."* (Rosenberg 1975: 233)

Obwohl Rosenberg zögert, seine historischen Beobachtungen zu verallgemeinern, sind ähnliche Entwicklungen *technologischer Konvergenz* in anderen Epochen und Indu-

---

[25](...Fortsetzung)
werden. Erst diese Voraussetzung ermöglichte Henry Ford die Einführung des Fließbandes. (Vgl. Womack, Jones, Roos 1990)

striezweigen (chemische, elektrotechnische Industrie) anzunehmen.[26] Dies würde bedeuten, daß zumindest im Zusammenspiel zwischen Produktionstechniken und Produktdiversifikationen der außerordentlich beschleunigte technische Wandel erklärt werden kann durch dynamische Rückkopplungen im Ungleichgewicht. Eine Folge wäre, wie Rosenberg selbst feststellt, daß man nicht länger annehmen kann, "*daß der technische Fortschritt mit gleicher Wahrscheinlichkeit überall im Wirtschaftssystem initiiert werden kann*" (235), sondern von den besonderen Konstellationen zwischen Produktionstechnik und Produktdiversifikation abhängt, die ein dynamisches Ungleichgewicht ermöglichen.

Im folgenden wird diese These weiter entfaltet. Unklar ist ja noch, wie die *technologische Konvergenz* durch den Filter der Unternehmensorganisation wahrgenommen wird und welche soziale Struktur die beschriebene Prozeßdynamik ausweist, oder anders formuliert, wie die Rückkopplungen im Ungleichgewicht erfolgen. In einer späteren Arbeit widmet sich Rosenberg diesen Fragestellungen und arbeitet die Bedeutung betrieblicher und zwischenbetrieblicher Lernprozesse zwischen technikherstellenden und -verwendenden Unternehmen heraus. (Vgl. Rosenberg 1982)

3.2 *Learning by doing* und *Learning by using*

Die Kategorien *technologische Konvergenz* und *vertikale Desintegration* heben die Bedeutung intraindustrieller Beziehungen für die Innovationsdynamik hervor. Diese werden von Rosenberg (1982) ergänzt um die Kategorien *learning by doing* und *learning by using*. Mit diesen Kategorien sollen die prozeduralen Kooperations- und Kommunikationsprozesse innerhalb eines Unternehmens und zwischen Unternehmen analysiert werden. Auch die Rekonstruktion dieser Kategorien wird sich für die weiteren Absichten als lohnend herausstellen. Denn für die empirischen Fragen, wie die oben herausgestellte dynamische Rückkopplung im Ungleichgewicht erfolgt, welche Akteure diese Rückkopplung tragen und wie die Akteure selegieren, wird ein Beobachtungskonzept benötigt, daß eine solche Beschreibung ermöglicht. Der Begriff des Lernens und seine Dekomponierung wird sich hier als besonders nützlich erweisen.

Rosenberg (1982) unterscheidet vier Lernprozesse, die technologische Innovationen auslösen und verstärken. Zunächst umfaßt der FuE-Prozeß zwei unterschiedliche

---

[26] Vgl. die Beispiele in Paulinyi (1989).

Formen des Lernens. Hier müssen Informationen (entweder aus der Wissenschaft oder aus der Anwendungsforschung) adaptiert werden und die zugrundeliegenden (Natur-)Gesetze müssen bekannt sein; weiterhin müssen Informationen über optimale Design-Charakteristika des neuen Produkts verfügbar gehalten werden; Bezugspunkt sind die Informationen aus der (angewandten) Wissenschaft, Lernen bedeutet hier Begreifen und Verstehen einer (neuen) Technologie.

Wenn nun ein Produkt entwickelt wird, beginnt ein weiterer Lernprozeß für den Technikhersteller, den Rosenberg mit Hinweis auf Arrow (1962) *learning by doing* nennt. Das Lernen ist hier auf den Herstellungsprozeß eines Produkts bezogen:

> "*Learning at this stage, as described by Arrow and others, consists of developing increasing skills in production.*" (Rosenberg 1982: 121)

Mit der Unterscheidung von "*gains that are internal to the production process (doing) and gains that are generated as a result of subsequent use of that product (using)*" (ebd.: 122) nimmt Rosenberg eine weitere Dekomposition vor, indem er nun explizit den Anwendungskontext[27] eines neuen Produkts einbezieht. Die Bedeutung der Verwendung für die weiteren Innovationsaktivitäten eines Technikherstellers wird aus der unvollständigen Vorhersagbarkeit aller technischen Funktionen einer Innovation in einem bestimmten Kontext abgeleitet:

> "*Perhaps in most general terms, the performance characteristics of a durable capital good often cannot be understood until after prolonged experience with it. For a range of products involving complex, interdependent components or materials that will be subject to varied or prolonged stress in extreme environments, the outcome of the interaction of these parts cannot be precisely predicted. In this sense, we are dealing with performance characteristics that scientific knowledge or techniques cannot predict very accurately. Moreover, many significant characteristics of such products are revealed only after intensive or, more significantly, prolonged use. Indeed, one of the central characteristics is the useful life of an expensive asset. One of the basic purpose of this learning-by-using process is to determine the optimal performance characteristics of a durable capital good as they affect the length of useful life. Closely related to this is the fact that optimal servicing and maintenance characteristics can be determined only after many years.*" (Ebd.: 122f.)

---

27 Im folgenden werde ich den präziseren Begriff der "*Verwendung*" anstelle von "*Anwendung*" benutzen, um damit zu verdeutlichen, daß es nicht allein um passive Anwendungen vorgegebener technischer Lösungen geht, sondern um "eigensinnige" aktive Verwendungen technischer Innovationen durch einen Nutzer.

Learning by using bezeichnet also ein Wissen, das nicht allein von wissenschaftlichen oder methodologischen Prinzipien deduziert und daher auch nicht wissenschaftlich oder technologisch vorhergesagt werden kann. (Vgl. auch von Hippel 1978; Hippel, Tyre 1995) Das durch *learning by using* entstehende Wissen ist nun am Beispiel des Innovationslernens weiter zu differenzieren. Es enthält nach Rosenberg (1982) zwei unterschiedliche Formen:

> "*The learning-by-using experience generates two very different kinds of useful knowledge that, borrowing from a well-established terminology, we may designate as embodied and disembodied.*" (123)

Der erste Fall ist auf ein besseres Verständnis der Beziehungen zwischen Modell und Realisierung bezogen und enthält Verbesserungen im Entwurf: "*Optimal design often involves many iterations.*" (123) Der zweite Fall führt zu besonderen Veränderungen im Gebrauch, die keine Modifikationen im Produktentwurf erfordern. Diese Unterscheidung wird allerdings nur analytisch gebraucht, da beide Fälle empirisch häufig ineinander verschachtelt sind. Am Beispiel der Flugzeugindustrie erläutert Rosenberg den ersten Fall. Er zeigt, wie in der formgebenden Lernphase (embodied learning) nicht nur die Aspekte zu berücksichtigen sind, die den Produktionsprozeß des neuen Produkts betreffen, sondern auch die Effekte, die das Design und die Herstellungskosten betreffen. Die Reduktion der Herstellungskosten hängt dabei wesentlich von den Funktionscharakteristika des neuen Designs ab und damit von einem besseren Verständnis des Gesamtentwurfs. Viele der anfänglichen Unsicherheiten rühren aus der impliziten Unsicherheit der Realisierung des Entwurfs her. Da auch Tests für das Verhalten von Flugzeugen nicht vollständig sicher sind, bedarf es weiterhin der praktischen Erfahrungen im Gebrauch durch die Flugzeuggesellschaft. Nur so können weitere Lernprozesse in Gang gesetzt werden. (125-129) Der zweite Fall wird von Rosenberg am Beispiel aufwendiger Instandhaltungs- und Wartungskosten demonstriert, die dann wiederum zu veränderten Entwürfen führen können.

Wichtig und beachtenswert an der Unterscheidung von *learning by doing* und *learning by using* ist die explizit eingenommene Position, betriebliche und zwischenbetriebliche Lernprozesse für den Innovationsprozeß gleichermaßen ernst zu nehmen. Wenn erstens erfolgreiche Innovationen nicht hinreichend durch Ingenieure und Konstrukteure in einem technikerzeugenden Unternehmen abgesichert werden können,

sondern die Lernprozesse bei der Realisierung eines Entwurfs durch die Facharbeiter wiederum zu Veränderungen des Entwurfs führen (können) und zweitens die Implementation und der Dauerbetrieb einer neuen Technik ebenfalls zu Rückkopplungen und möglichen Veränderungen führen (können), resultiert daraus die Notwendigkeit, solche Rückkopplungsprozesse im Forschungsdesign zu berücksichtigen. Eine Konsequenz dieses Arguments - von Rosenberg nicht explizit benannt - ist die Zurückführung des technischen Wandels auf die interorganisationale Struktur von technologischen Ungleichgewichten und die rekursive Struktur von Lernprozessen.[28]

Um den Stand der bisherigen Ausführungen festzuhalten und den weiteren Gang der Analyse vorzubereiten, fasse ich nun zusammen: Für die Entfaltung des angestrebten Modells des technischen Wandels hat sich die Diskussion der vorliegenden Ansätze zunehmend in die Richtung der Ungleichgewichtstheorien bewegt. Es ist deutlich geworden, daß technischer Wandel nicht ubiquitär in der Industrie verortet werden kann, sondern aus jeweiligen Innovationsfelder unter Einschluß ihrer Organisationsweisen resultiert. Hier wiederum bildet die Struktur der innerbetrieblichen und zwischenbetrieblichen Lernprozesse eine unhintergehbare Voraussetzung der Beobachtung der Innovationsdynamik - gegebenenfalls auch der Innovationshemmnisse. Nun kommt es darauf an, die hier intendierten Aspekte der Innovationsdynamik weiter zu konkretisieren. Dieses Ziel verfolgt die Rezeption der Fragestellungen und Antworten der *Evolutionären Ökonomie*.

4. *Evolutionäre Ökonomie*

Unter der Bezeichnung *Evolutionäre Ökonomie* hat sich - teils auf dem von Rosenberg erreichten Niveau (aber nicht unbedingt in Anknüpfung an ihn), teils in Differenz zu ihm - eine Forschungsrichtung etabliert, deren Arbeiten wichtige Beiträge zur Innovationsdynamik beinhalten.[29] Zu den Forschungsfragen gehören die Probleme des be-

---

28 Allerdings wird sich erweisen, daß neben den von Rosenberg benannten individuellen und interaktiven Lernprozessen auch organisationale Lernprozesse von Bedeutung sind.

29 Mit dem Begriff "*evolutionary*" verbinden sich innerhalb dieser Forschungsrichtung erstens eine dynamische Betrachtungsweise ökonomischer Abläufe und zweitens die zentrale Annahme, daß die evolutionäre Erklärung von Innovationsprozessen sowohl die Variation zufallsbedingter Elemente im Innovationsprozeß als auch die systematische Trennung von bestehenden Variatio-

(Fortsetzung...)

trieblichen Innovationsprozesses, die konzeptuelle Ausarbeitung der technologischen Konvergenz zwischen Entwicklungs- und Verwendungsbereichen, die Analyse der Pfadabhängigkeit technischer Entwicklungslinien und die Bedeutung institutioneller Faktoren für den technischen Wandel. Mit diesen Fragestellungen wird die Absicht verfolgt, technische Handlungskoordinationen als soziale Handlungskoordinationen zu entschlüsseln.

Während die erste Frage zu einer genaueren Berücksichtigung organisationaler Faktoren führt, berührt die zweite die Strukturen des technologischen Wissens. In ihrer Kombination können die Prozesse der dynamischen Kopplung weiter ausgearbeitet werden. Die dritte Frage zielt auf die Analyse sozialer Schließungsprozesse (*lock in*) und erzeugt den Anschluß an die - insbesondere aus der Wissenschaftsforschung hervorgegangene - Technikgeneseforschung. Damit wird der Anschluß an die später zu entwickelnde Konzeption der Rekursivität technischer Innovationen vorbereitet.

Die unterschiedlichen Ansätze innerhalb der *Evolutionären Ökonomie* haben ihren gemeinsamen Ausgangspunkt in der Abgrenzung gegenüber der Neo-Klassik. Die *Evolutionäre Ökonomie* sieht den Zusammenhang von Innovation, Organisation und Gesellschaft als variabel an. Sie geht von den Axiomen aus, daß erstens der technische Wandel durch technologische Faktoren unterdeterminiert ist und zweitens - aus dem ersten Axiom folgend - durchgesetzte Techniken nicht die jeweils besten sein müssen, sondern das Resultat multipler und kontingenter Wirkungsfaktoren darstellen. Technischer Wandel ist in diesem Theorieprogramm weder ausschließlich wirtschaftlich noch technologisch determiniert.

Der Gestaltungsoffenheit neuer Techniken auf der einen Seite stehen Schließungsprozesse und Pfadabhängigkeiten (*lock in-Effekte*) auf der anderen Seite gegenüber. Um diese zu identifizieren, werden neue Kategorien in die Theorie integriert, z.B. Paradigma, Trajektorie, (rückgekoppeltes) Lernen, Informationsverarbeitung unter Unsicherheit und organisationaler Umgang mit Komplexität. Ausschließlich rationale Kosten-Nutzen-Modelle sowie subjektive Kosten-Nutzen-Kalküle kritisiert die *Evolutionäre Ökonomie* als unzureichend, da solche Konzepte die Zukunftsoffenheit der Innovationsprozesse und -folgen in organisationssoziologischen Erwägungen vernachlässigen.

---

[29](...Fortsetzung)
nen durch einen Retentionsmechanismus einschließen muß. (Vgl. Dosi, Nelson 1994: 154f.)

Neuere Entwicklungen in den Naturwissenschaften verstärken hier, daß die lange an der Mechanik orientierte ökonomische Theoriebildung nunmehr offensichtliche Anpassungen vornimmt. Zeitirreversibilitäten und dynamische Ungleichgewichte geraten in den Vordergrund. (Dosi, Metcalfe 1991) Naturwissenschaftliche Forschungen über dissipative Strukturen in der Thermodynamik (Prigogine, Stengers 1981), die Autopoiesis lebendiger Strukturen (Maturana, Varela 1987; Luhmann 1984) und die Synergetik (Haken 1988) führen zu der These der evolutionären Selbstorganisation dynamischer Systeme. Im Mittelpunkt des Interesses der *Evolutionären Ökonomie* stehen endogen erzeugte Neuerungen.

> "*Unsicherheit wird nicht mehr nur in der vereinfachten Form einbezogen, daß bei an sich als bekannt vorausgesetzten Ereignissen Eintrittswahrscheinlichkeiten abzuschätzen sind. Das Spannende ist vielmehr, daß genuin Neues und Unerwartetes 'zugelassen' wird.*" (Biervert, Held 1992: 9)[30]

Im folgenden wird ein Überblick zu den wichtigsten Arbeiten aus dem Umfeld der *Evolutionären Ökonomie* gegeben. Dabei werden zwei Ziele verfolgt, die die Richtschnur der Darstellung bestimmen. Einerseits wird die Ausarbeitung des Modells des technischen Wandels abschließend vorbereitet; andererseits werden Indikatoren für die empirische Analyse diskutiert.

4.1 Technologisches Regime und organisationale Routine

Wie einleitend hervorgehoben wurde, sehen sich die Vertreter der *Evolutionären Ökonomie* in der Tradition der schumpeterianischen Ungleichgewichtstheorie und kritisieren die Welt der Walrasianischen Gleichgewichtstheorie.[31] Das Zusammenspiel von technologischer Diskontinuität (Basisinnovationen) und Kontinuität (inkrementale Innovationen) wird in der *Evolutionären Ökonomie* allerdings weniger auf die personenzentrierte Sichtweise eines *dynamischen Unternehmers* zurückgeführt, sondern eher aus

---

30 Ein wichtiger Hinweis der Autoren soll den normativen Implikationen eines tendenziell positiv gesetzten Begriff "*Neuerungen*" eine eingrenzende Bedeutung geben: "*Gesellschaften, die tendenziell Neuerungen begünstigen, können gleichwohl in Teilbereichen institutionelle Arrangements aufweisen, die Neuerungen eher hinderlich sind.*" (Biervert, Held 1992: 10)

31 Walras (1881) gilt als der Hauptbegründer der Grenznutzentheorie, die eine allgemeine Gleichgewichtstheorie ist.

dem Zusammenspiel von institutionellen und organisationalen Faktoren erklärt. Mit den Mitteln der verhaltenswissenschaftlichen Organisationstheorie (insbesondere Cyert, March 1963), der schumpeterianischen Ungleichgewichtstheorie und der Evolutionstheorie wird der Versuch unternommen, die Innovationsdynamik zu erklären. Ausgangspunkt ist die von Nelson, Winter (1977) gewählte Problemsicht:

> "*A theory of innovation must incorporate explicitly the stochastic evolutionary nature of innovation, and must have considerable room for organizational complexity and diversity.*" (48)

Der eine Ausgangspunkt ihrer Betrachtung ist das betriebliche Entscheidungsverhalten, das immer von einer grundlegenden Unsicherheit und Kontingenz mit Blick auf mögliche Innovationen bestimmt ist; der andere Ausgangspunkt ist die Existenz oder Entwicklung sogenannter "*technological regimes*". Diese sind kognitive Strukturen, "*relating to technicians' beliefs about what is feasible or at least worth attempting.*" (57) Die Aufmerksamkeit und die Gerichtetheit technischer Erfindungs- und Entwicklungstätigkeit sind durch dieses Regime immer schon vorselegiert. *Trajektorien* sind nun Entwicklungslinien innerhalb eines solchen Regimes:

> "*The sense of potential, of constraints, and of not yet exploited opportunities, implicit in a regime focuses the attention of engineers on certain directions in which progress is possible, and provides strong guidance as to the tactics likely to be fruitful for probing in that direction. In other words, a regime not only defines boundaries, but also trajectories to those boundaries. Indeed these concepts are integral, the boundaries being defined as the limits of following various design trajectories.*" (57)

Hier ist deutlich formuliert, daß Innovationsprozesse, gerade weil sie unsicherheitsbelastet sind, nicht blind variieren, sondern *Trajektorien* innerhalb eines technologischen Regimes folgen. Die Nachfragestrukturen für Innovationen bilden nach Nelson, Winter in der Markteintrittsphase eine selegierende Umwelt. Diese Selektion ist nun einerseits eine Rückkopplung hinsichtlich der getroffenen Entscheidungen innerhalb eines Regimes, andererseits stabilisieren sie den weiteren Innovationsprozeß:

> "*Given a flow of new innovations, the selection environment (...) determines how relative use of different technologies change over time. The selection environment influences the path of productivity growth generated by any given innovation, and also it feeds back the influence strongly of the kinds of R & D that firms and industry will find profitable to undertake.*" (Nelson, Winter 1977: 61)

Auf der Grundlage eines *technological regime* werden also betriebliche Entscheidungsprozesse in Abhängigkeit von der Unternehmensgeschichte, der Marktumwelt, den verfügbaren Informationen usw. gesehen. Sie sind kontingent, aber nicht beliebig. Die von den Unternehmen gewählten (technologie-)strategischen Entscheidungen werden im Rahmen der *trajectory*-Metapher als sequentielle Entwicklung betrachtet und die selegierende Marktumwelt konditioniert in diesem Modell wiederum die betrieblichen Entscheidungsprozesse.

Diese Argumentationsfigur ist wesentlich durch die verhaltenswissenschaftliche Organisationstheorie beeinflußt. Deren Absicht bestand in der mikroökonomischen Fundierung makroökonomischer Phänomene, d.h. aus den internen Unternehmensstrukturen und -prozeduren sollte erklärt werden, wie Unternehmen in unsicheren Unternehmensumwelten operieren, wie diese lernen und welche organisationalen Routinen und Regeln die getroffenen Entscheidungen konditionieren. Die Erweiterung dieser Argumentationsfigur führt Nelson, Winter zu der Analogie zwischen den organisationalen Routinen und der Rolle der Gene in der Evolutionstheorie.[32] Die Einheit der Evolution sehen Nelson, Winter in der Unternehmensorganisation, hier entscheiden organisationale Routinen und Metaregeln (Gene) über die Technikwahl. Die Umwelt (Märkte) selegiert über die angebotenen Lösungen und bestimmt damit das weitere Firmengeschick. (Nelson, Winter 1982)

Daraus folgt: Innovative Unternehmen verfolgen bei der Auswahl ihrer Innovationsprojekte weder eindeutige Optimierungsstrategien, noch klare Kosten-Nutzen-Kalküle. Entlang organisationsinterner Entscheidungsroutinen, die auf dem Hintergrund früherer Entscheidungen entstehen, entwickeln sie technische Suchstrategien, die mehr oder weniger zufriedenstellende Lösungen generieren.

Kritisch einzuwenden ist, daß in neodarwinistischen Evolutionstheorien nicht nur die Umwelt selektiert, sondern auch die Einheit der Evolution selbst. Auftauchende Mutationen erhöhen nicht automatisch die Umweltangepaßtheit der Unternehmen. (Vgl. Grundmann 1994: 23) Doch das Hauptinteresse von Nelson und Winter, die Erklärung des betrieblichen Entscheidungsverhaltens und dessen Evolution in einer sich verändernden Marktumwelt wird in einem anspruchsvollen Modell realisiert. Nicht unerwähnt bleiben soll, daß dies allerdings um den Preis einer bewußt in Kauf genommenen

---

32 "*Routines in general play the role of genes in our theory.*" (Nelson, Winter 1982: 400)

Vereinfachung des Ansatzes von Cyert, March (1963) geschieht. Diese gingen von konfligierenden Zielsetzungen innerhalb einer Unternehmensorganisation aus und vertraten die Ansicht, daß organisationales Handeln eher Ergebnis konfliktreicher Aushandlungsprozesse ist und nicht, wie Nelson und Winter (1982) zum Zweck der eigenen Modellbildung unterstellen, das Ergebnis einer homogenen Weltsicht (58). Dies ermöglicht ihnen zwar die Entwicklung eines konsistenten Modells betrieblichen Entscheidungsverhaltens und auch die modellhafte Beschreibung industrieller Evolution, andererseits werden Unschärfen in den jeweiligen Aggregationsniveaus (Organisation, Branche, Industrie) unvermeidlich, wie Kämper (1995) herausarbeitet. Das entscheidende Problem einer analytisch kohärenten Betrachtung des betriebsinternen Innovationsprozesses (*Push*-Bedingungen) und der externen Marktbedingungen (*Pull*-Bedingungen) inklusive der institutionellen Kontexte ist mit diesem Ansatz aber benannt worden. Wirklich transparent gemacht werden kann es allerdings nur mit Mitteln, die sich wesentlich stärker auf die Mikrostrukturen betrieblicher und zwischenbetrieblicher Wahrnehmungs- und Entscheidungsprozesse einlassen. (Vgl. auch Bredeweg, Kowol, Krohn 1994)

4.2 Paradigmata und Trajektorien

In Fortsetzung von Nelson, Winter und in Anlehnung an Thomas Kuhns Theorie der Wissenschaftsentwicklung hat Giovanni Dosi (1982) den Begriff des *technologischen Paradigmas* geformt.[33] Nach Kuhn (1976) bestehen Paradigmata in der Wissenschaft aus gewissen Verknüpfungen zwischen theoretischen Konzepten und experimentellen Nachweisen, wobei in einer selbstbezüglichen Weise die Geltung dieser Nachweise an die Überzeugung der Konzepte gebunden ist und umgekehrt. Findet ein solches Paradigma unter WissenschaftlerInnen eine Anhängerschaft, kann es schrittweise über weitere Erfahrungsbereiche ausgebreitet werden. Diese Entwicklung nennt Kuhn "*Normalwissenschaft*". Erfahrungen oder konzeptuelle Möglichkeiten, die sich nicht gut in das

---

33 Einen weiteren auf dem Kuhnschen Paradigma-Begriff aufbauenden Ansatz verfolgt die französische *Theorie der Regulation*, die dem Verhältnis von Technik und institutionellen Arrangements nachgeht, und die die Absicht verfolgt, spezifische "*Akkumulationsregimes*" zu identifizieren, hierbei aber stärker neomarxistisch argumentiert. (Vgl. als Überblick, Hübner 1989). Insofern dieser Ansatz auf der Ebene gesellschaftlicher Makrostrukturen verbleibt, spielt er für die Erklärung des betrieblichen Innovationsprozesses eine geringe Bedeutung.

Programm einfügen lassen, werden für unwichtig erklärt. Solche Paradigmata sterben selten an innerer Auszehrung, sondern an den Folgen der Konkurrenz alternativer Paradigmata. Kommt es ernsthaft zum Streit zwischen Paradigmata, entsteht eine revolutionäre Situation, die nicht nach "*normalwissenschaftlichen*" Standards entschieden werden kann. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, daß Kuhn gezeigt hat, daß es möglich ist, in Begriffen der sozialen Konflikt- und Konsensbildung über wissenschaftliche Entwicklungen zu reden, ohne einen übergeordneten Glauben an einen zielbestimmten Fortschritt zu unterstellen, aber auch ohne die Konsequenz, Wissenschaft für ein irrationales Unternehmen zu erklären.

Dosi sowie einige andere Autoren[34] erhoffen einen ähnlichen Gewinn für die Innovationsforschung. Dem Kriterium der Geltung von Erkenntnis entspricht dabei das des erfolgreichen Einsatzes einer Technik. Zunächst soll gezeigt werden, wie mit dem Begriff des Paradigmas eine genauere Formulierung der dynamischen Kopplung gelingt, durch die für einzelne *Trajektorien technology push-* und *demand pull*-Beziehungen ineinandergreifen. Ein technologisches Paradigma definiert Dosi

> "... *as a model and a pattern of solution of selected technological problems, based on selected principles derived from natural sciences and on selected material technologies.*" (Dosi 1982: 83)

Ein technologisches Paradigma enthält nach Dosi festgelegte *Regeln*, die die Richtung des technischen Wandels festlegen:

> "*Technological paradigms have a powerful exclusion effect: the efforts and the technological imaginations of engineers and of the organisations in which they work are focused in rather precise directions, while they are, so to speak, 'blind' with respect to other technological posibilities.*" (Dosi 1982: 84. Vgl. auch Dosi 1984; 1988a)[35]

Beginnt ein technologisches Paradigma sich durchzusetzen, dann verbreitet es sich in

---

34 Das Paradigma-Konzept wurde m.W. erstmals von Constant (1973) als Analogie für den technischen Wandel eingeführt. Weitere im Detail differierende Analogiebildungen benutzen Freeman, Perez 1988; Anderson 1991 und Belt, van den Rip 1987. Vgl. als Überblick auch Dosi et al. 1988; Freeman, Soete 1990.

35 Unübersehbar sind auch hier die Anknüpfungspunkte für *Leitbilder* der Technikgenese (vgl. Dierkes 1989) und analytische Betrachtungen über den "*konstruktiven Konservatismus*" (Knie 1989) in bestimmten industriellen FuE-Prozessen.

einem Verwendungskontext, und gerade dadurch beginnt seine technologische Fortentwicklung: Es bildet sich eine technologische *Trajektorie*, die durch zwei Größen bestimmt ist. Zum einen führt die erfolgreiche Verwendung von Technik zu stärker werdenden Forschungsinvestitionen (so führten beispielsweise die Erfolge des Personal Computers zu weiteren Entwicklungsinvestitionen im PC-Bereich), durch die der technologische und marktvermittelte Innovationsdruck größer wird. Zum andern werden die Rückkopplungen über die Verwendungen immer präziser und direkter. In Analogie zu Kuhn bedeutet dies: Parallel zu den in den Wissenschaften erwartbaren Entdeckungsleistungen der *Normalwissenschaften* kommt es hier zu den erwartbaren Innovationsleistungen (*normal problem-solving activity*) der technologischen *Trajektorien* im Rahmen eines technologischen Paradigmas.

Ein Paradigmawechsel geschieht Dosi zufolge durch verschiedene Selektionsmuster (*selective device*), die auf den Ebenen von Wissenschaft, Technologie-Produktion und ökonomischer Entwicklung im Zusammenhang mit sozialen und institutionellen Faktoren wirksam werden, wobei der ökonomische Erfolg dieses Muster sukzessive stabilisieren kann. Ein Beispiel in diesem Zusammenhang ist die Transformation der tayloristischen Produktionsweise mit ihren Elementen Massenproduktion, hohe Arbeitsteilung, wohlfahrtstaatliche Entwicklung, durch ein neues Paradigma, dem System der "*flexiblen Spezialisierung*" (Priore, Sabel 1989; Dosi 1988a).[36]

Die Überlegenheit eines neuen gegenüber einem alten Paradigma ist allerdings immer nur ex post feststellbar:

> "*The point we want to stress, however, is the general weakness of market mechanisms in the ex ante selection of technological directions.*" (Dosi 1983: 87).

Die weitere Entfaltung des Programms der *Evolutionären Ökonomie* richtet ihr Augenmerk auf die historischen und institutionellen Aspekte der Innovationsaktivitäten. (Vgl. als Überblick Dosi 1988a; 1988b; Freeman, Soete 1990) Ziel ist es, einerseits die historischen Verläufe der Technikentwicklung aus der personalisierenden Betrachtungsweise großer Erfinder herauszulösen und nicht-lineare Verläufe der Technikentwicklung

---

36 Eine empirische Analyse der relativ langanhaltenden Wachstumsperiode entwickelter industrieller Länder nach 1945 findet sich in Dosi, Orsenigo (1988): Technischer Wandel ist der dort entwickelten Sichtweise nach nicht zufallsgesteuert, sondern wegen der Konditionierung durch ein technologisches Paradigma und *durch Trajektorien* pfadabhängig.

zu betrachten, andererseits die institutionellen Aspekte des Innovierens einzufangen, wie die regional- und länderspezifische Ausdifferenzierung formaler Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, aber auch die zwischenbetrieblichen Kooperationsprozesse. Insbesondere hier finden sich Beziehungen zwischen den Arbeiten von Rosenberg und der *Evolutionären Ökonomie*.

Zunächst lehnt Dosi sich bei der weiteren begrifflichen Durchdringung der Rückkopplung zwischen *Paradigma* und *Trajektorie* - auch hierin Kuhn folgend - an Polanyis Konzeption des *impliziten Wissens* an. Im Anschluß an Polanyi (1967) definiert Dosi dieses Wissen folgendermaßen:

> "... *tacitness refers to those elements of knowledge, insight, and so on that individuals have which are ill defined, uncodified, unpublished, which themself cannot fully express and which differ from person to person, but which may to some significant degree be shared by collaborators and colleagues which have a common experience. Conversely, scientific inputs are typically universal and public.*" (Dosi 1988a: 1126)[37]

Komplementär zu der *formalen* und im Prinzip veröffentlichungsfähigen Forschung und Entwicklung (FuE) in Laboratorien und Forschungsstätten existieren demzufolge *informelle*, implizite innovationsrelevante Aktivitäten, die einen beständigen und signifikanten Beitrag zur inkrementalen Weiterentwicklung und Verbesserung von Technik im Rahmen einer Trajektorie liefern. Damit verknüpfen sich differente Wissensformen, die für den Innovationsprozeß relevant sind.

Artefakte *inkorporieren* demzufolge unterschiedliche Wissensformen, die zwischen den Polen des formalen, d.h. veröffentlichungs- und patentfähigen Wissens (explizites Wissen) und des spezifischen, lokalen Wissens (*tacit knowledge*) angeordnet sind. Dieses *implizite Wissen* entsteht insbesondere im praktischen Umgang mit einer neuen Technik und läßt sich vor allem auf die "*Produktionsintelligenz*" (Lutz 1993) der Unternehmen zurechnen. Es entsteht bei der Herstellung und in der Verwendung neuer Technik, im Umgang mit Problemen, Störfällen, unerwarteten Ereignissen, sowie in der kooperativen Aneignung durch die Facharbeiter im Arbeitsprozeß.

---

37 Kritisch ist zu bemerken, daß auch wissenschaftliche Informationen einen impliziten Charakter aufweisen können. Wie Knorr-Cetina (1984) zeigt, sind auch wissenschaftliche Ergebnisse keineswegs beliebig dekontextualisierbar und frei übertragbar, auch sie besitzen einen spezifischen Bezugspunkt: Aufgrund der Lokalität und Indexikalität wissenschaftlicher Ergebnisse und Hypothesen besteht häufig ein erheblicher Interpretationsbedarf.

Entgegen dem neoklassischen Axiom der 'vollständigen Verfügbarkeit von Information' können Dosi zufolge technische Artefakte nicht ausschließlich Resultat der Verwendung einer solchen Ressource sein. Mit diesem Argument wendet er sich gegen Annahmen der (neo-)klassischen Ökonomie, die technisches Wissen bzw. Technologie als ein frei verfügbares Gut (Information) betrachtet, welches beliebig mit den Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit kombiniert werden kann. Seine modelltheoretische Verfeinerung führt dazu, den Faktor der Information um das Konzept der paradigmageleiteten, kumulativen Lernprozesse innerhalb der Technikentwicklung zu erweitern.[38] Die Vorteile dieser Erweiterung liegen in der Möglichkeit, Ungleichgewichte in der Verteilung des technischen Wissens besser als bisher zu beschreiben (vgl. Schott 1991: 20) und an die Theorie industrieller Distrikte anzuknüpfen, die insbesondere lokale und regionale Kontextbedingungen des innovativen Wandels untersucht.[39]

Technischer Wandel vollzieht sich somit auch über betriebliche und zwischenbetriebliche Organisationsformen, in denen innovierende Unternehmen zunächst an schon vorhandenes, kumuliertes Wissen im eigenen Unternehmen oder in einem Verwenderunternehmen anknüpfen, woraus sogenannte *innovation avenues* resultieren. Diese Wissenbestände sind häufig nicht-öffentlich, lokal und erfahrungsbasiert. Sie sind weder einer marktförmigen Transaktion zugänglich noch sind sie als gesellschaftliche Ressource (Information) frei verfügbar. Wenn diese weder in den Konstruktionszeichnungen oder Montageplänen verschriftlicht sind, sind sie selbst organisationsintern nicht *frei* verfügbar:

> "*In each technology there are elements of tacit and specific knowledge that are not and cannot be written down in a 'blueprint' form, and cannot, therefore, be entirely diffused either in form of public or proprietary information.*" (Dosi 1988a: 1131)

Innovationen können also an bestimmte Erzeugungskontexte gebunden bleiben, weil erfolgreich innovierende Unternehmen über ein Know-how verfügen, welches ihnen

---

38 In diesem Zusammenhang greift er auch Rosenbergs Kategorie der *technologischen Konvergenz* auf und lenkt das Augenmerk auf die kumulierten Wissensbestände, die sich aus den Entwicklungs- und Verwendungszusammenhängen ergeben.

39 Illustrative Beispiele für solche industriellen Distrikte finden sich in Piore, Sabel (1989). Für das hier gewählte empirische Feld steht die Konzentration des Werkzeugmaschinenbaus auf Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen nebst ihren vielfältigen regionalen Anwendern als Beispiel.

durch "*initial learning costs*" einen Vorsprung gegenüber konkurrierenden Firmen sichert. Für ein evolutionäres Modell der technischen Innovation ist diese Kategorie des lokalen Wissens von großer Bedeutung. Denn über die kontextgebundenen, lokalen Wissensbestände kann eine Rückkopplung zwischen dem Verwendungskontext und der (weiteren) Entwicklungsarbeit erreicht werden. Ökonomischer Erfolg und ein relativer Wettbewerbsvorteil können in dem Maße ausgebaut werden, wie Verwendererfahrungen in den Herstellungskontext zurückgekoppelt werden: "*success breeds success*" (Dosi 1988a). Der Verwendungskontext einer neuen Technik wirkt also nicht in erster Linie selektiv, sondern konstruktiv und über die positive und negative Rückkopplung beschleunigend. Es kommt also zu einer wechselseitigen Verstärkung zwischen einem technologischen Paradigma, das als Selektionsmuster für alle folgenden technischen Verbesserungen wirkt und der Ressourcenallokation entlang einer *Trajektorie* bzw. eines technischen Entwicklungspfads. Diese Beschleunigung kann aber auch bedeuten, daß die über die Rückkopplungen vernetzten Unternehmen und Institutionen in bestimmten *Trajektorien 'eingelockt'*[40] werden, mit der Gefahr, für ein neues Paradigma ungerüstet zu sein.[41]

Diese Beobachtungen bilden für Dosi den Ausgangspunkt für einen intersektoralen Vergleich des Innovationsverhaltens verschiedener Industriezweige. Dabei fallen die Differenzen der Größenverteilung der Betriebe auf, die weder mit dem Patentaufkommen noch durch die Ausgaben für (formale) FuE zufriedenstellend erklärt werden können. Informelle und nicht meßbare Lernprozesse (*learning by doing*, *learning by*

---

40 "*The exploration of particular technologies and the development of particular problem-solving methods increase the capabilities of firms and industries in the specific directions and thus increase the incentive to do so also in the future. These technology specific forms of dynamic increasing returns tend to 'lock in' the processes of technological change into particular trajectories, entailing a mutual reinforcement (a positive feedback) between a certain pattern of allocation of resources into innovative activities where learning has already occured in the past.*" (Dosi 1988a: 1148)

41 Krupa (1994) schildert einen solchen Fall am Beispiel der Substitution von FCKWs in Haushaltskühlschränken. Die Hersteller reagierten auf das angekündigte Verbot von FCKWs nur sehr zögerlich. Trotz des Anpassungsdrucks und des Vorliegens technologischer Alternativen zur FCKW-Kühlung hatten führende Unternehmen in Westdeutschland längere Zeit keine eigenen Innovationsanstrengungen zur Substituierung von FCKW unternommen. Erst als ein ostdeutsches Unternehmen mit einer Substituttechnik - die im übrigen seit längerem bekannt war - auf den Markt kam, begannen diese zu reagieren. Die Pfadabhängigkeit der einst erfolgreichen technologischen Unsicherheitsreduktion und die Beherrschung eines transparenten Marktes hat im vorliegenden Fall zunächst ein konservatives Beharrungsverhalten begünstigt.

using) außerhalb der eigentlichen Forschung und Entwicklung haben Dosi zufolge wesentlich zum Innovationserfolg beigetragen. (Dosi 1988a)

Aus dem "*degree of tacitness*" entwickelt Dosi eine Klassifikation des unterschiedlichen Innovationsverhaltens einzelner Branchen. Die Pole, zwischen denen die Kategorisierung sich bewegt, werden einerseits gekennzeichnet durch wissenschaftsbasierte Industrien (Chemie) und andererseits durch den inkremental operierenden Maschinenbau.[42] Für die segmentspezifische Ausprägung industrieller Innovationsaktivitäten ist auch die Geschwindigkeit, mit der wissenschaftlich gewonnene Ergebnisse in funktionsfähige Techniken und Produkte überführt werden, ein relevanter Bestimmungsfaktor. Weiterhin ist für die Betrachtung der Innovativität eines Unternehmen auch die relative Stellung zu konkurrierenden Unternehmen zu beachten, d.h. es ergibt sich die Notwendigkeit, das Marktsegment einschließlich der möglichen zwischenbetrieblichen Lerneffekte, die aus den jeweils spezifischen Beziehungen zwischen den Herstellern und Verwendern von Technik resultieren, zu analysieren.

4.3 Zusammenfassung, Kritik und weiterführende Überlegungen

Die gegenwärtige Neubelebung der evolutionären Denkweise innerhalb der Ökonomie hat mittlerweile vielfältige, überzeugende Studien zum Zusammenhang von Produktinnovation und institutionellem Wandel hervorgebracht (zum Überblick: Dosi, Nelson 1994). Diese belegen, daß evolutionäre Ansätze fruchtbare Heuristiken entwickeln können, um ökonomische und technische Sachverhalte zu analysieren.

Das Forschungsprogramm bezieht sich auf die Entwicklungdynamik von "*organizational routines*" (Nelson, Winter 1976; 1977; 1982), "*technological paradigms*" und "*trajectories*" (Dosi 1983; 1988a; Dosi et al. 1988; Dosi, Nelson 1994), Branchen (Dosi 1988a) und Industrien (Nelson 1993). Die Erklärung der Innovationsdynamik beinhaltet die Kombination von Zufallselementen ("*random events*", "*technological dicontinuities*", "*technological breakthroughs*"), die Variation bewirken, und Mechanismen, die diese systematisch von einer bestehenden Variation trennen. Innerhalb der sozio-evolutionären Betrachtungsweise spielen *imperfect learning* und *mistake-ridden discoveries* eine wichtige Rolle.

---

42 Zu einer weiteren Operationalisierung vgl. Schott 1991: 17f.

Zunächst soll festgehalten werden, daß die *Evolutionäre Ökonomie* gegenüber einfachen Push-/Pull-Modellen wichtige Aspekte der Innovationsdynamik präzisiert. So wird insbesondere nicht-ökonomischen Faktoren (Organisationshandeln, Politik, Institutionen und Lernen) ein zentraler Stellenwert eingeräumt. Deutlich zu erkennen ist, wie unter diesen Bedingungen, die selektiven Entscheidungen in der Marktumwelt eines Unternehmens und im Unternehmen selbst den Geneseprozeß eines Produkts konditionieren und limitieren können.

> "*More generally, evolutionary theory can be viewed as a theory about how society, or the economy, learn: in very special cases learning leads to the convergence to some repertoire of 'optimal behavior'; normally it entails more or less temporary, and highly suboptimal, adaption to what are perceived to be the prevailing environmental constraints and opportunities, and also a lot of errors, trials, and discoveries.*" (Dosi, Nelson 1994: 158)

Insbesondere die Herausarbeitung der Selbstverstärkungseffekte innerhalb einer *Trajektorie* durch die Rückkopplungen der Technikverwender und die darauf bezogenen intensivierten Aktivitäten der Technikhersteller implizieren einen wichtigen Gesichtspunkt der dynamischen Rückkopplung zwischen Push- und Pullaktivitäten. Gleichzeitig wird eine Erklärung für mögliche Verriegelungsprozesse technischer Pfade ermöglicht. Die Wahl einer *Trajektorie* verstärkt und kanalisiert die Innovationsbemühungen eines Unternehmens, einer Branche oder Industrie in eine bestimmte Richtung. Durch kumulative Lerneffekte, Know-how-Transfer und selbstverstärkende Investitionsaktivitäten auf Hersteller- und Verwenderseite kann ein irreversibler Prozeß in Gang gesetzt werden: Ein Wechsel zu einer alternativen Trajektorie ist mit hohen Kosten verbunden, das kumulierte Know-how und die Spezialisierungsgewinne können dabei ganz oder teilweise verlorengehen.

Weiterhin gelingt der *Evolutionären Ökonomie* die Zurückweisung zwei zentraler Axiome der neoklassischen Innovationstheorie. Erstens wird die Annahme einer vollständigen Vorausschau bzw. rationalen Wahl problematisch: Innovationsaktivitäten müßten Gegenstand kalkulierbarer optimaler Entscheidungen sein und sich als Gleichgewichtslösungen entsprechender ökonomischer Modelle darstellen und analysieren lassen. Dagegen argumentiert Dosi (1988):

> "*Almost by definition, what is searched for cannot be known with any precision before the activity itself of search and experimentation, so that the technical (and, even more so, commercial) outcomes of innovative efforts can hardly be known ex ante.*" (222)

Ein zweiter Einwand verschärft den ersten und bezieht sich auf die von der Neoklassik unterstellte Verhaltenshomogenität von Unternehmen. Dieser Annahme nach ist modelltheoretisch ausgeschlossen, daß einzelne Akteure unter gleichen Bedingungen individuelle, abweichende Innovationsaktivitäten verfolgen. Optimales Marktverhalten ist das des repräsentativen Akteurs. Gegen diese Annahme der Neoklassik steht die von Dosi u.a. beobachtete Heterogenität und Pfadabhängigkeit im Innovationsverhalten. Innovationsentscheidungen implizieren verschiedene Verzweigungsstellen, die multiple Gleichgewichte bewirken können:

> "*Wenn das Ergebnis individueller Entscheidungen nicht unabhängig ist von dem Weg, wie diese Entscheidungen gefunden werden (...) ist die rationale Entscheidung auch nicht, wie in der traditionellen Entscheidungstheorie, durch den äußeren Handlungsrahmen und die Präferenzen eindeutig bestimmt.*" (Erdmann 1993: 102)

Innovationsaktivitäten von Unternehmen sind dementsprechend konditioniert und limitiert durch asymmetrische Informationen, unterschiedliche Kapazitäten der Informationsbeschaffung und -verarbeitung, organisationale Differenzen und Unterschiede hinsichtlich des Humankapitals. Heterogenes Innovations- und Marktverhalten beruht also auf inhomogenen Randbedingungen und Anfangsausstattungen. Zusammenfassend hat in dem hier entfalteten Modell einer *Evolutionären Ökonomie* die dynamische Kopplung zwischen Push und Pull bereits eine (auch empirisch) gehaltvolle Durchstrukturierung erfahren.

Dennoch könnte eingewendet werden, daß nicht die radikale Entwertung technologischer Paradigmata (inkorporiert in bestimmten *Trajektorien*) das eigentliche Muster technischen Wandels ist. Als weiterreichend könnte sich herausstellen nachzuzeichnen, wie die kumulative Wirkung kleinschrittiger Veränderungen zu technischen Sprüngen führen, so z.B. wenn zwei getrennt voneinander prozessierende *Trajektorien* miteinander verknüpft werden, wie dies z.B. bei CNC-gesteuerten Werkzeugmaschinen der Fall ist, wo sich Elektronik und Mechanik miteinander zu einer gemeinsamen *Trajektorie* verbinden. Diese Absicht verfolgten Fleck et al. (1990). Sie überprüfen das Paradigma- und Trajektorienkonzept der *Evolutionären Ökonomie* anhand empirischer Beispiele aus dem Bereich der Informationstechnik. Dabei gelangen sie zu dem Ergebnis, daß das Vorhandensein einer unidirektionalen, ungebrochenen Entwicklungslinie in bezug auf die mikroelektronisch basierten Techniken nicht bestätigt werden kann.

Z.B. können die Autoren hinsichtlich der CNC-gesteuerten Werkzeugmaschine belegen, daß sehr unterschiedliche Nutzungsvisionen sowohl bei den Herstellern als auch bei den Verwendern bestehen, die u.a. abhängig sind von den zugrundegelegten Arbeitseinsatzkonzepten. Die angeführten widersprüchlichen und konkurrierenden Konzepte (z.B. Werkstattprogrammierung versus AV-Programmierung) bezeichnen eine Wahlsituation zwischen fortschreitender Dequalifizierung und Aufwertung der Tätigkeit der Maschinenoperateure (Requalifizierung). (Fleck et al. 1990: 622ff.) Damit wird sowohl ihre Konflikthaftigkeit deutlich als auch die Rolle innerbetrieblicher Machtprozesse (Mikropolitik) für die konkrete Verlaufsform, die eine *Trajektorie* einschlägt.

Auch zeigt sich, daß die bei Anderson und Tushman (1991) gewählte Unterscheidung von "*competence destroying discontinuities*" und "*competence enhancing discontinuities*" in der Technikentwicklung nicht nur für verschiedene Techniklinien besteht, sondern auch innerhalb der Entwicklung einer Techniklinie (hier: der CNC-Technik) Bedeutung beanspruchen kann. Dann aber ist es problematisch, hier von einer einheitlichen *Trajektorie* auszugehen.

Mit dem Eintritt einer Technik in den Kontext eines Industrieunternehmens trifft diese Technik auf eine bestimmte mikropolitische Konstellation, die mit einer erheblichen Eigendynamik ausgestattet ist, deren Auswirkungen auf die ursprüngliche Konzeption komplexer Informationstechnik nie hinreichend antizipiert werden können.[43]

Der Verwendungskontext, über den bei der Projektierung einer neuen Technik bestimmte Annahmen getroffen werden und der durch den Einsatz der Technik als sozialer Handlungsraum strukturiert wird, erweist sich häufig als wesentlich sperriger, als von den Promotoren der Technik angenommen worden ist. Die in die Nutzungsvisionen der Entwickler eingegangenen sozialen Implikationen werden unterschätzt. Bei der Implementation einer neuen Technik entsteht eine häufig zu beobachtende Eigendynamik, deren Rückkopplungen auf den Erzeugungskontext zu nicht präzise vorhersagbaren Weiterentwicklungen führen.[44] Fleck et al. (1990) zeigen, daß die Anfangs-

---

43 Am Beispiel der Entwicklung von Fotosatzmaschinen zeigt Hack (1989), daß sich dieser Prozeß keineswegs auf begradigten Flugbahnen (Trajekten) vollzieht, sondern eher einer *Zick-Zack-Bewegung* folgt. Die vielfältigen sozio-ökonomischen Funktionsbedingungen und sozio-kulturellen Bewertungsprozeduren haben hier eher zu einem Schlingerkurs beigetragen als zu einer gradlinigen Entwicklung. (Hack 1989: 93)

44 "*Detailed examination of the implementation of technologies offers a more dynamic under-*

(Fortsetzung...)

visionen über das zukünftige Nutzerverhalten vielfältig revidiert werden müssen, wenn es zum tatsächlichen Verwendungsfall kommt. Die Technik wird fortlaufend modifiziert.

Festzuhalten ist, daß Umnutzungen und Transformationen stattfinden, die dem vorgedachten und geplanten Verlauf einer *Trajektorie* nicht mehr entsprechen. Die Entwicklung einer einzelnen Techniklinie ist somit weniger gerichtet als es das Bild der *Trajektorie* nahelegt. Meines Erachtens nach setzen die Modellannahmen der *Evolutionären Ökonomie* zu viele intervenierende soziale, ökonomische und technische Bedingungen ungerechtfertigterweise konstant, die faktisch miteinander konfligieren und relationiert werden müssen. Insbesondere erweist sich hier als ein Schwachpunkt der *Evolutionären Ökonomie*, daß ihre bisherigen Konzepte mit dem Konstrukt einer nicht näher bestimmten externen Marktumwelt (*selective environment*) der innovierenden Unternehmen arbeiten.[45] Der Annahme einer *externen Selektion* entspricht auch ein schwacher Organisationsbegriff. Denn bezogen auf die Analyse der Innovationsdynamik beinhaltet diese Konzeptualisierung eine zu strikte Trennung zwischen den Technikerzeugern und den Technikverwendern. Die Dimension der Interorganisationsbeziehungen kann so nicht hinreichend eingefangen werden. Das aber heißt: Die Beziehungen zwischen der Innovationsdynamik und Organisationsdynamik können mit der Kategorie *selective environment* nicht angemessen konzeptualisiert werden.

Paradigmageleitete Vorhersagen zukünftiger Entwicklungsverläufe sind praktisch nicht möglich. Feinanalysen aus dem Bereich der Produktionstechnik bestätigen, daß der Innovationsprozeß in ständiger Abstimmung zwischen Hersteller- und Verwenderunternehmen stattfindet und daß diese Abstimmung so eng ist, daß sie nicht mehr über trennbare Angebots- und Nachfragestrukturen (also Märkte) erfolgt, sondern über länger andauernde Zusammenarbeit zwischen den Unternehmen. Daraus leitet sich eine kritische Distanz zum Paradigmabegriff ab. (Vgl. Asdonk, Bredeweg, Kowol 1994)

---

[44](...Fortsetzung)
standing of processes of innovation and the relationship between technological and organizational change." (Fleck, et al. 1990: 618)

[45] "*Thus the assumption of a selection environment that is truly independent of a particular technological trajectory is hard to justify.*" (Belt, Rip 1987: 141) So verweisen die Autoren in ihrem empirischen Beispiel darauf, daß die Entstehung der synthetischen Farbenindustrie erst im Hinblick auf den "*nexus*" zwischen chemischer Industrie und ihren Kunden (Textilfärbereien und Druckereien), also der "*selective environment*" (Dosi 1982) rekonstruierbar wird.

Die Feinanalysen der Innovationsprozesse beinhalten zwei Dimensionen der Kritik an der Paradigma-Analogie und der *trajectory*-Metapher. Erstens sind die Bestandteile eines technologischen Paradigma *transparadigmatisch* komponierbar. Ihre erfolgreiche Verwendung ist nicht auf den Kontext eines bestimmten Paradigmas angewiesen, sondern kann normalerweise auch in andere Kontexte integriert werden. Hier versagt vermutlich die Analogie zwischen der Geltung von Theoremen und dem Funktionieren einer Technik.[46] Zweitens führen neue Paradigmata normalerweise nicht zu einer radikalen Entwertung der konkurrierenden vorhandenen. Beispielsweise kann die "*flexible Spezialisierung*" (Piore, Sabel 1989) neben dem *Fordismus* oder *Taylorismus* existieren, auch können sie Komplementarität beinhalten. Weiterhin können ausgegrenzte *technische Entwicklungspfade*, wie zum Beispiel das "*record-play-back*" Verfahren (Noble 1978) wieder attraktiv werden. Hier erscheint der biologistische Hintergrund des Evolutionsgedankens (Arten entstehen, aber verschmelzen nicht; ausgestorbene Arten können nicht neu entstehen) hinderlich.

Auch für die mikrosoziologische Untersuchung der Innovationsdynamik bleiben noch Fragen, z.B. wie die Marktimpulse organisationsintern bearbeitet werden, wie die Rückkopplungsprozesse zwischen einem Verwender und einem Hersteller verlaufen, welche Akteure die Transformationsprozesse einer Idee in ein neues Produkt gestalten und welche Fachkompetenzen dazu notwendig sind usw. Insbesondere organisationssoziologisch inspirierte Arbeiten - auch innerhalb der *Evolutionären Ökonomie* - begreifen die fehlende Konzeptionalisierung von Interorganisationsbeziehungen und Hersteller-Nutzer-Beziehungen als einen entscheidenden Mangel in Dosis Modell. Verwender, so die Kritik, sind hier ausschließlich Selektoren, nicht Mitgestalter; evolutionstheoretisch geht es aber darum, die Bedeutung der Koordination zwischen den Technikherstellern und -verwendern für die technische Variation herauszuarbeiten. (Vgl. Anderson 1991; Anderson, Tushman 1990; Tushman, Anderson 1986; Tushman, Nelson 1990; Tushman, Rosenkopf 1992; zur Übersicht siehe Kämper 1995)

Einige Zweifel sind auch gegenüber der *trajectory*-Metapher zu erheben, da sie zunächst die Annahme einer kaskadenförmig verlaufenden Technikentwicklung auf-

---

46 Eine früh geäußerte Skepsis gegenüber der Übertragung des Paradigmakonzepts aus der Wissenschaft auf die Technik findet sich in Pinch, Bijker 1987.

rechterhält[47] und somit die Rekursivität als einen zentralen Mechanismus technischer Innovation unberücksichtigt läßt. (Vgl. Kap II) Simultane Zweck-Mittel-Relationierungen und Transformationen innerhalb technischer Entwicklungslinien lassen sich nur ungenügend im Bild der *trajectory*-Metapher einfangen; auch hier könnte das weiterreichende Konzept darin bestehen nachzuzeichnen, wie solche Zweck-Mittel-Relationierungen und Transformationen prozessieren.

Die genannten Kritikpunkte lassen sich am ehesten als Ergänzungen und Hinweise zur Präzisierung des Konzepts der *Evolutionären Ökonomie* verstehen. Aktuelle Arbeiten zeigen auch die gegenwärtige Absicht einiger Vertreter dieser Richtung, organisationssoziologische und institutionalistische Erweiterungen des Forschungsprogramms vorzunehmen. In (zumeist) breiter Analogie zur Evolutionstheorie lassen sich gegenwärtig drei wichtige Erweiterungen im Forschungsprogramm der *Evolutionären Ökonomie* erkennen.

(a) Während die biologische Evolutionstheorie mit dem Kriterium der *Überlegenheit* argumentiert, wird in der *Evolutionären Ökonomie* neuerdings der Begriff "*fitness*" (Dosi, Nelson 1994) bevorzugt, um gegenüber einem Technikdeterminismus die soziale Konstruktion von Technik zu betonen. Demnach müssen technische Lösungen für einen Verwendungskontext lediglich *passen* oder *tauglich* sein, nicht aber in einem ontologischen Sinne *Überlegenheit* besitzen.

(b) Die anfänglich entwickelten Selektionskriterien der *Evolutionären Ökonomie* ("*profit*" bei Nelson, Winter 1982; "*prices*" bei Silverberg 1988) weichen gegenwärtig einer komplexer gebauten Selektionsdynamik. Demnach selegieren Unternehmen anhand verschiedener Kriterien (Finanzmärkte, Profiterwartungen, Marktentwicklung, Wachstumsbedingungen, Produktstärke, Preise, Auslieferungsbedingungen usw.). Diese Multidimensionalität der Selektionskriterien fordert die *Evolutionäre Ökonomie* dazu heraus, die Interaktionsmechanismen zu spezifizieren, anhand derer sich die Selektion vollzieht. Mit der genannten organisationssoziologischen Erweiterung des theoretischen Ansatzes ist im hier genannten Zusammenhang eine weitere Herausforderung verbunden: Die Selektion kann nicht mehr in einer unstrukturierten Unternehmensumwelt

---

47 So können Abweichungen vom eingeschlagenen Innovationsweg im Bild der trajectory-Metapher nicht präzise genug eingefangen werden. Man sieht nicht, wie auf der durch die Trajektorie vorgegebenen Bahn auch kleine Veränderungen größeren innovativen Wandel bewirken können. Dies zu erklären, ist aber eine gegenwärtige Aufgabe der Innovationstheorie.

plaziert werden, sondern muß als interner Vorgang innerhalb der "*community of producer and user*" (Anderson 1991) oder innerhalb eines "*societal sectors*" (Scott, Meyer 1991) beschreibbar sein.

(c) Für ein evolutionäres Modell des technischen Wandels wird neben dem Variations- und Selektionsmechanismus ein Retentionsmechanismus benötigt (vgl. auch Campbell 1969), da eine erfolgreiche Variation stabilisiert werden muß. Diese sehen Anderson und Tushman (1990) in der Herausbildung eines "*dominanten Designs*". Diese Phase ist mit der Herausbildung von Standards, technischen Normen und Vereinheitlichungsprozessen gekennzeichnet. (613ff.) Ein *dominantes Design* eröffnet nun weitere Standardisierungen einzelner Austauschteile und - mit Blick auf die Technikhersteller - die Optimierung der Fertigungsprozesse und die Stabilisierung von Hersteller-Zulieferer-Beziehungen, Vertriebsnetzen und Kundenbeziehungen. Aus der Perspektive der Technikverwender reduziert ein *dominantes Design* die Unübersichtlichkeit unterschiedlichster Produkte einer gegebenen Klasse und verbilligt die Kosten zum Erwerb. Ist eine solche Retention erfolgreich, ist eine Verdrängung nur schwer möglich. *Learning by doing* and *learning by using* stabilisieren dieses Design; Nutzererfahrungen führen zu einem besseren Verständnis von Fehlern und ermöglichen durch einen verbesserten Service eine höhere Zuverlässigkeit. (614)

(d) Als Einheit der Evolution kommen im Ansatz der *Evolutionären Ökonomie* Techniken, Technologien, Verfahrensweisen oder Organisationsweisen in Betracht, die beeinflussen, was Akteure (individuelle oder kollektive) tun. Darüber hinaus unterliegen aber auch Technologien, Routinen und Verfahrensweisen Wandlungsprozessen, die ihre eigenen Transformationsregeln haben. Hier ist noch am wenigstens ausgearbeitet, wie die Beziehung zwischen dem Genotyp der zugrundegelegten Einheit und den Selektionsmechanismen ist. Aktuelle institutionalistische Arbeiten aus dem Umfeld der *Evolutionären Ökonomie* legen nahe, daß eine Theorie der intersektoralen Organisationsentwicklung die notwendigen Anschlußstellen liefern kann, um Evolution und Selektion genauer zu spezifizieren. (Anderson 1991; Anderson, Tushman 1990; Tushman, Nelson 1990; Tushman, Rosenkopf 1992) Beispielsweise läßt sich in einem organisationssoziologisch erweiterten Setting die Kategorie der "*organizational routine*" (Nelson, Winter 1982) gewinnbringend an die Kategorie der "*communities of producers and users*" (Anderson 1991) oder die des "*societal sectors*" (Scott, Meyer 1991) in der Form anschließen, daß die Veränderung von organisationalen Routinen wiederum aus

der Emergenz interorganisationaler Verflechtungen interpretiert werden kann.

Im nächsten Kapitel werde ich eine Konzeption präsentieren, die den erreichten Stand der Diskussion sozialwissenschaftlicher Innovationsforschung berücksichtigt und unter Hinzuziehung techniksoziologischer Argumentationen weiterführt. Im Zentrum der Konzeption steht die Rekursivität technischer Innovation. Indem Technikentwicklung und Technikanwendung strikt aufeinander bezogen werden, soll die Trennung einer Technikfolgen- und einer Technikgeneseforschung überwunden werden. Das Ziel ist, einen kohärenten Theorierahmen zu entwickeln, der der Emergenz technischer Innovationen Rechnung trägt und die technischen Handlungsformen als soziales Handeln entschlüsselt.

II. Theoretisch-konzeptioneller Rahmen: Die Rekursivität technischer Innovation

1. Einleitung

In der zweiten Hälfte der achtziger Jahre entwickelt sich - unabhängig von der *Evolutionären Ökonomie* - eine neue Forschungsrichtung: die *Technikgeneseforschung*. Diese wendet sich den sozialen Entstehungsbedingungen neuer Techniken zu und beginnt damit, ein wesentliches Defizit früherer Ansätze der sozialwissenschaftlichen Technikfolgenforschung und der Technikfolgenabschätzung zu beheben. (Vgl. Rammert 1987; 1988a; Dierkes 1987; Weingart 1989a) Der Perspektivenwechsel von den Folgen der Technik hin zu ihrer Entstehung und Entwicklung thematisiert die soziale Dynamik emergenter technischer Entwicklungspfade.[1] Der Blick in die *black box* der Technik sensibilisiert für die sozialen Aushandlungsprozesse, die Kommunikations- und Kooperationsprozesse, die der technischen Härtung vorausgehen. Das *Herstellen von Fakten* erscheint als ein kontingenter Prozeß, den heterogene Akteure gestalten.
Die Technikgeneseforschung richtet ihren Fokus auf die Bedingungen, die zu der konkreten Gestalt einer Technik führen. Sie fragt unter anderem danach, ob und welche Gestaltungspotentiale für alternative Techniklösungen bereits in der Phase der Entwicklung vorhanden sind, welche Nutzungsvisionen verfolgt und ausgeblendet werden, ob und wie diese Nutzungsvisionen in Technisierungsverläufen umgedeutet und transformiert werden, wie Kontroversen zwischen unterschiedlichen Funktionsanforderungen und Effizienzkriterien entschieden werden, welche mikropolitischen Konstellationen über die *Härtung* von Technik entscheiden und welche organisationalen und institutionellen Bedingungen hier einflußreich sind.[2]

---

1 Im traditionellen Verständnis der neuzeitlichen Technikinterpretation ist die zentrale Frage nach der sozialen Struktur von Technik beziehungsweise nach dem sozialen Prozeß des technischen Wandels gar nicht gestellt worden. (Krohn 1989) Und obwohl es bei den Nachfragern sozialwissenschaftlichen Wissens (hier: Regierungen, Wirtschaftsverbände, Gewerkschaften) nicht an Interesse gefehlt hat, war die Kategorie *Technik* bisher kein Grundbegriff der Soziologie. (Rammert 1989) Als eigenständige Disziplin etabliert sich die Techniksoziologie in Deutschland erst etwa seit Mitte der achtziger Jahre.

2 Als Überblick zu den zentralen Fragestellungen, Forschungsfeldern und Ergebnissen der Technikgeneseforschung siehe v. a. Rammert (1993; 1994b); Rammert, Bechmann (1994) und Halfmann u.a. (1995).

Ein gegenwärtiges Anliegen der sozialwissenschaftlichen Technikgeneseforschung ist es, verschiedene Forschungsfelder und unterschiedliche Forschungsansätze miteinander zu verknüpfen. (Vgl. die Beiträge in Rammert, Bechmann 1994) Die an zahlreichen Einzelfallstudien gewonnenen theoretischen Konzepte zu einem allgemeinen Modell des technischen Wandels zusammenzuführen, ist ein aktuelles Desiderat dieser Forschungsdisziplin. Eine - die einzelnen Studien übergreifende - gemeinsame Herausforderung bildet dabei die analytische Zusammenführung der technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsysteme.[3]

> "*Sie (die sozialwissenschaftliche Technikgeneseforschung, U.K.) integriert die Forscher-, Entwickler-, die Technikhersteller-, Technikanwender-, die Produzenten-Konsumenten- und die Nutzer-Entwickler-Beziehungen weitgehend in ihrem Gegenstandsbereich.*" (Rammert 1994b: 8)

Dies ist der Kontext für das Vorhaben, technische Innovationen und den technischen Wandel als (evolutionäre) Dynamik dieser Sozialsysteme soziologisch zu beschreiben. Theoretisch geht es also um Klärungen im Verhältnis von Innovation, Organisation und gesellschaftlichen Wandel. Diesem Ziel werde ich mich schrittweise annähern.

Um die Konzeption *Innovation als rekursiver Prozeß* vorzubereiten, wähle ich als Ausgangsproblem die dichotome Betrachtungsweise des technischen Wandels als diskontinuierliche bzw. kontinuierliche Prozesse. (Abschnitt 2) Die Unterscheidung zwischen Kontinuität und Diskontinuität bildet eine Leitdifferenz der innovationstheoretischen Diskussion, denn damit ist die Frage nach einer Unterscheidung von radikalen und inkrementalen Innovationen gestellt. Die Wahl dieses Ausgangspunktes betrifft also insbesondere das Verhältnis zwischen der Technikentwicklung als ein permanenter industrieller (Innovations-)Prozeß und der Periodisierung des technischen Wandels als Abfolge von *Revolutionen*. (Abschnitt 2.1) Wie verhält sich also beispielsweise die inkrementale und durchaus kleinschrittige Entwicklung der Mikroelektronik (vgl. Knight 1967) zu den Begriffen der "*Mikroelektronik-Revolution*" (Nussbaum 1983) oder

---

3 Dieser Begriff wird weiter unten eingeführt. Als generischen Oberbegriff verwende ich im folgenden den Ausdruck *Technostrukturen*. Dieser Begriff ist m.W. zuerst von Galbraith (1975) eingeführt worden und diente ihm zur Beschreibung einer komplexen Führungsorganisation von industriellen Großorganisationen. Ich benutze den Begriff im folgenden - in Anlehnung an Rammert (1995) - für die gesellschaftlichen Regeln und Praktiken der Erzeugung, Verwendung und Regulierung von Technik.

"*Computer-Revolution*" (Feigenbaum, McCorduck 1984), die aus eben dieser Technik ihre Begründungen erfahren?

In Distanz zu einigen Arbeiten der *Evolutionären Ökonomie* werde ich zeigen, daß es problematisch ist, die Artefakte als evoluierende Einheit zu wählen. (Abschnitt 2.2) Im Gegensatz zu Arten besitzen Techniken keine Möglichkeit der Selbstreproduktion.[4] Die Technik als evoluierende Einheit zu wählen, geht vermutlich auf das biologistische Schema von Variation-Selektion zurück, reformuliert wird hier die Trennung zwischen den Erzeugungsakten technischer Innovation (Erzeugung von Variation) und den sozialen Prozessen der (externen) Marktselektion durch technikverwendende Organisationen. Diese Unschärfe der *Evolutionären Ökonomie* ist meiner Ansicht nach auf die mangelnde Entfaltung eines sozialwissenschaftlichen Technikbegriffs zurückzuführen. Um dieser Problematik zu begegnen, soll auf die techniksoziologische Diskussion zum Gegenstand *Technik* eingegangen werden. Im Vordergrund steht hier die Entfaltung eines relationalen Technikbegriffs. Zur Verdeutlichung der sozialwissenschaftlichen Relationierung von Technik innerhalb von Sozialzusammenhängen wird dann unter Rückgriff auf die Theorie der Selbstorganisation die Erzeugung einer Technik als Suche zum Auffinden einer *Eigenlösung* konzeptionalisiert. Diese Umstellung ist ein wichtiger Baustein für eine neue Konzeption. Die Konzeption: *Innovation als rekursiver Prozeß*. (Abschnitt 3)

Mit dieser Konzeption verbindet sich ein weiteres Abrücken von der *Evolutionären Ökonomie*. Diese operiert - entsprechend der klassischen biologischen Evolutionstheorie - mit einem externen Selektionskriterium (z.B. das des "*selective environment*" bei Dosi 1983) und deshalb muß sie zwischen Variation und Selektion systematisch trennen. Eine neue Perspektive ergibt sich, wenn man von der Annahme einer *internen Selektion* in den technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsystemen ausgeht. Eine solche Perspektive stellt auf die besondere Rolle von (Kollektiv-)Akteuren ab, die technische Variation und Selektion miteinander verbinden. In dieser Betrachtungsweise stellt die Erzeugung von Technik nicht allein die Konstruktion eines neuen Artefaktes dar, sondern darüber hinaus umfaßt sie auch die Antizipation eines neuen Verwendungskontextes, was Spezialfälle (etwa, daß ein ausgeformter Verwendungskontext schon besteht) nicht ausschließt. (Vgl. Krohn 1995) Mit dieser neuen Sichtweise

---

4 Gleichwohl ist dies ein häufig variiertes Thema in der SF-Literatur und im SF-Film.

kann einerseits den Schwierigkeiten der Übertragung der klassischen biologischen Evolutionstheorie auf die sozio-technische Evolution begegnet und andererseits dem derzeitigen Wandel innerhalb der Evolutionstheorie, die gegenwärtig durch Modelle der Selbstorganisation und Chaostheorie umgearbeitet wird, Rechnung getragen werden.[5] Weiterhin folgt daraus die Umstellung einer artefaktzentrierten Sichtweise des technischen Wandels auf die Beobachtung der Veränderungen in den technikgeneserelevanten Kontexten, d.h. in den "*Technostrukturen*"[6] der Gesellschaft. *Technischer Wandel* wird als Evolution von Sozialsystemen betrachtet, in denen Techniken erzeugt, verwendet und reguliert werden. (Abschnitt 3.1) *Technik* resultiert aus unterschiedlichen Aushandlungsprozessen, aus der sozialen - im engeren Sinne technikvermittelten - Handlungskoordination. Neben den antizipierten Erzeugungs-, Verwendungs- und Regulierungsmöglichkeiten von Technik werden die Erfahrungen und Lernprozesse bezogen auf die Funktionsfähigkeit, Tauglichkeit, Kontextspezifität, Rentabilität, Risikogeladenheit und andere Gestaltungsanforderungen von Technik koordiniert, die sich in allen Phasen technischer Projekte ergeben können und die neue Erfahrungen erzeugen.

Damit komme ich zu den Ausgangspunkten einer neuen Konzeption: Wenn technische Innovationen an vorgängige Erfahrungen mit Technik und Verwenderanforderungen anknüpfen und zugleich Resultat der Antizipation neuer Verwendungskontexte sind, die durch betriebliche Implementationen und experimentelle Erprobungen - unter den Bedingungen der Konkurrenz - zu stabilen Lösungen der Verwenderprobleme oder zu inkrementalen Weiterentwicklungen bzw. Modifikationen oder neuen Konzepten führen, wird ein theoretisches Konzept gesucht, mit dem diese zirkuläre Kopplung beschrieben werden kann.

Im Anschluß an die Selbstorganisationstheorie werde ich für diese zirkuläre Kopplung zwischen technischer Variation und Selektion die Konzeption *Innovation als rekursiver Prozeß* entfalten. Das Konzept der *rekursiven Schließung* zwischen Technikerzeugung und -verwendung eröffnet die Möglichkeit, die vielfältigen und kontingenten Rückkopplungsprozesse, die hier wirksam werden, aus einer Beobachtungsperspektive zu studieren. (Abschnitt 3.2)

---

5 Vgl. bspw. Silverberg 1988; Leydesdorff, Besselaar 1994.

6 Vgl. Fußnote 3.

Wenn *rekursive Technikentwicklung* sich auf einen *Prozeß* bezieht, in dem sich Entwicklung und Verwendung neuer Technik wechselseitig vorantreiben, dann kann nicht mehr strikt zwischen Ursachen und Wirkungen technischer Entwicklungen unterschieden werden. Vielmehr wird davon ausgegangen, daß Innovationsvorhaben Entwicklung und Verwendung strukturell und prozedural miteinander verweben. Damit stellt sich die Frage nach der sozialen Struktur *rekursiver Technikentwicklung*.

Werden innovationsrelevante Leistungen zunehmend außerhalb der Herstellerbetriebe erbracht, so müssen sie durch entsprechende *Strukturen* für den Innovationsprozeß verfügbar gemacht werden. (Abschnitt 3.3) In kritischer Distanz zum Transaktionskostenansatz werden diese Kooperations- und Kommunikationsstrukturen zwischen Herstellern und Verwendern - sowie Verbänden, Ingenieurbüros, Zuliefern und außerbetrieblichen Forschungseinrichtungen, Normungsausschüssen usw. - zunächst vorläufig - als *Innovationsnetzwerke* bezeichnet. *Innovationsnetzwerke* - so eine weitere These - dienen dazu, Kontextwissen und technische Parameter zu generieren und zu transferieren, sie ermöglichen und stabilisieren Aushandlungs- und Rückkopplungsprozesse auf verschiedenen Ebenen der zwischenbetrieblichen Kooperation und tragen so dazu bei, technologische Unsicherheiten und Marktintransparenz zu reduzieren.[7]

Technischer Wandel - so lautet dann die zusammenfassende These - ist gekennzeichnet durch eine rekursive Innovationsdynamik innerhalb der technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsysteme. (Abschnitt 3)

2. Kontinuität und Bruch

2.1 Wahrnehmungen

In einer Zeit, in der die technischen Entwicklungen wie die ökonomischen, politischen und kulturellen Prozesse geradezu leitmotivisch von Brüchen charakterisiert zu sein scheinen, schwankt die wissenschaftliche Reflexion der Technikgeneseprozesse zwischen den Polen von Kontinuität und Diskontinuität. Diese Spannung zeigt sich bei-

---

7 Das Modell der Innovationsnetzwerke wird ausführlich im letzten Teil der Arbeit diskutiert. Ich benutze den Begriff zunächst nur als Arbeitsbegriff, um die Strukturen des Transfers technischer Parameter sowie die vielfältigen Aushandlungsprozesse im Rahmen interorganisationaler Kooperation zu kennzeichnen.

spielsweise, wenn Rammert einerseits kritisiert, daß die hohe Aufmerksamkeit für Basisinnovationen den Blick auf den vorherrschenden evolutionären Charakter der Technikentwicklung verstelle (Rammert 1988b: 17f.) und andererseits anhand der Mikroelektronik analysiert, daß durch bestimmte Technologien qualitativ neue Techniktypen entstehen.[8]

Noch prononcierter spricht Häusler von einer Phase revolutionären Wechsels, der mit der Einführung der Mikroelektronik, der Verwendung neuer Werkstoffe und Bearbeitungsverfahren zu einem neuen technologischen Paradigma führe. (Vgl. Häusler 1990) Auch die *Evolutionäre Ökonomie* operiert mit der Unterscheidung von Kontinuität und Diskontinuität der technischen Entwicklung. (Vgl. Dosi 1983; Dosi, Nelson 1994; Freeman, Perez 1988; Anderson, Tushmann 1990) Der verwendete Paradigma-Begriff der *Evolutionären Ökonomie* deutet hier seine Nähe zur schumpeterianischen Unterscheidung von Basisinnovationen und inkrementalen Innovationen an.

Andererseits betont einer der Pioniere der Techniksoziologie, Gilfillan (1935), den evolutionären, kontinuierlichen Charakter der technischen Entwicklung. Er geht von der infiniten Neukombination einzelner technischer Elemente aus, von endlosen Schleifen der Detailveränderung, Modifikation und Transformation technischer Komponenten, von neuen Designs, neuen Materialien, anderen Umgangsweisen und veränderten technologischen Elementen, die Innovationen bewirken. Mit Bezug auf Gilfillan resümiert Rammert (1988b):

> "*Die wenigen sogenannten 'Basisinnovationen', wie Dampfmaschine, Elektromotor, Kernspaltung oder Computer trüben den Blick für die breite Masse der evolutionär verlaufenden Technikentwicklung. Außerdem zerfallen diese Inventionen bei näherer Betrachtung selbst wiederum in einen längeren Prozeß von Elementneuerungen und Neukombinationen, der jede punktuelle Datierung als willkürlich erscheinen läßt.*" (17f.)

In diesem Sinne behauptet der englische Wirtschaftshistoriker Floud, daß die industrielle Revolution weder "*das Zeitalter der Baumwolle oder der Eisenbahnen oder gar über-*

---

8 "*Superschnelle Rechner, hochverdichtete Schaltungen auf Mikrochips stehen für eine neue Generation von Technologien. Diese Technologien versprechen gegenüber ihrer Vorgängergeneration ein qualitativ höheres Leistungspotential. Geschwindigkeit, programmierbare Präzision und Flexibilität treten als zentrale Parameter auf. Durch den Einbau elektronischer Sensor-, Regelungs- und Speichertechnik werden Geräte, Maschinen und ganze technische Anlagen der unterschiedlichsten Branchen auf das neue technologische Niveau gehoben.*" (Rammert 1992a: 31)

haupt des Dampfes (war, U.K.); es war ein Zeitalter der Verbesserungen." (Floud 1981: 118) Was die technischen Innovationen dieser Zeit betrifft,

> "*kam das meiste der technischen Vervollkommnung nicht von einigen großen Erfindungen, die größere Diskontinuitäten markierten, sondern von einer Masse von häufig durchgeführten kleinen Verbesserungen.*" (Ebd.: 151)

Noch radikaler argumentiert der Technikhistoriker Basalla (1988), der davon ausgeht, daß es im Bereich der technologischen Evolution annähernd ebenso viele Arten gibt wie in der biologischen Evolution. In enger Analogie zur biologischen Evolution lautet seine These zur technischen Evolution:

> "*Whenever we encounter an artifact, no matter what its age or provenance, we can be certain that it was modeled on one or more preexisting artifacts.*" (Basalla 1988: 209)

Sehr viel vorsichtiger votiert Rosenberg (1982) für eine evolutionäre Sicht der Technikentwicklung. Kritisch gegenüber dem oft postulierten Zusammenhang von Basisinnovationen und Wirtschaftswachstum notiert er große theoretische, methodologische und statistische Probleme solcher *Nachweise*. (56) Denn erstens lassen sich die Effekte einzelner Basisinnovationen schwerlich isoliert betrachten, da die Verfügung und Nutzung einer neuen Technik oftmals von ergänzenden, komplementären Technologien abhängig ist:

> "*The social payoff of an innovation can rarely be identified in isolation. The growing productivity of industrial economies is the complex outcome of large numbers of interlocking, mutually reinforcing technologies, the individual components of which are very limited economic consequence by themselves. The smallest relevant unit of observation, therefore, is seldom a single innovation but, more typically, an interrelated clustering of innovations.*" (58f.)

Zweitens diskutiert er die kumulativen Wirkungen kleinschrittiger Veränderungen. Er verweist zunächst auch auf Gilfillan (1935), der anhand einer Analyse der Entwicklung der Schiffsbautechnik auf den evolutionären, auf unzähligen kumulativen Veränderungen und Modifikationen beruhenden Charakter der technischen Entwicklung hindeutet. Weiterhin bezieht Rosenberg sich auf Knight (1967), der aufgrund eigener Untersuchungen zur Entstehung des Computers zu dem Ergebnis kommt, daß

> "*most of the developments in general-purpose digital computers resulted from small, undetecta-*

ble improvements, but when they were combinated they produced the fantastic advances that have occured since 1940." (Knight 1967: 493, zit. nach: Rosenberg 1982: 66)

Diese und weitere Beispiele verallgemeinernd kommt Rosenberg dann zu der Schlußfolgerung:

"*Much of the technological change that goes on in an advanced industrial economy is, if not invisible, at least of a low-visibility sort. It includes a flow of improvements in material handling, redesigning production techniques for greater convenience, and reducing maintenance and repair costs.*" (64f.)

Im Zusammenhang mit der Komplementaritätsthese und den kumulativen Wirkungen kleinschrittiger, inkrementaler Veränderungen fokussiert sein drittes Argument die interindustriellen Beziehungen. Insbesondere die Werkzeugmaschinenbauindustrie mit ihrer Produktion von Investitionsgütern für zahlreiche Verwenderindustrien hat zum technischen Fortschritt vieler anderer Industriebereiche beigetragen. (Vgl. auch Kap. I, Abschnitt 3) Die *technologische Konvergenz* (Rosenberg 1975) trägt maßgeblich dazu bei, daß ein industrieller Ausdifferenzierungsprozeß in Gang bleibt, der die interindustriellen Beziehungen als Voraussetzung der Produktion spezialisierter (End-)Produkte hat.

"*In fact, much of the technological change of the past two centuries or so has been generated by these specialist firms. The main beneficaries of technological change in these capital goods industries are, in the first instance, the buyers of these goods in other industries, but the total benefits may be very widely diffused in an economy of increasingly specialized productive units and high rates of interindustry purchases. The inability to take these interindustrial relationships fully into account is a fundamental limitation of most of the recent literature on technological innovation.*" (Rosenberg 1982: 71)

Die unterschiedlichen Wahrnehmungen technischer Entwicklung drängen geradezu nach einem integrierenden Modell, das sowohl die kleinschrittigen technischen Entwicklungen als auch die als *revolutionär* angesehenen Basisinnovationen berücksichtigt. Bevor dieses Modell entfaltet werden kann, sind zunächst einige begriffliche Erweiterungen vorzunehmen, die aus soziologischer Perspektive notwendig erscheinen, will man nicht eine inflationäre Etikettierungspraxis perpetuieren, die ständig neue "Label" wie "*superindustrielle Revolution*" (Toffler 1975), "*Mikroelektronik-Revolution*" (Nussbaum 1983) oder "*Computer-Revolution*" (Feigenbaum, McCorduck 1984) erzeugt.[9]

[9] Das dies im Forschungsalltag, wo knappe Ressourcen eine harte Randbedingung bilden, wiederum eine *ertragreiche* und deshalb häufig auch als notwendig empfundende Praxis darstellt, soll nicht bestritten werden.

2.2 Erweiterungen: Technik und Technisierung

Wie gezeigt worden ist, lassen sich sowohl für die Diskontinuitätsthese ebenso wie für die Kontinuitätsthese Argumente mobilisieren, die nicht einfach zu entkräften sind. Dennoch bleiben Zweifel, ob die genannten Kriterien einer soziologischen Erklärung genügen. Diese Zweifel beziehen sich insbesondere darauf, ob es möglich ist, aus der isolierten Betrachtung von Techniken, Komponenten oder Werkzeugen die notwendigen Unterscheidungsmerkmale zur Beantwortung der Frage nach der Differenz von Kontinuität und Diskontinuität zu gewinnen.

Bei der oben referierten These eines radikalen Wandels werden die Kriterien der Diskontinuität entweder allein technologisch (stofflich, physikalisch-chemisch, elektronisch) oder, wie in der *Evolutionären Ökonomie*, paradigmatisch bestimmt. In beiden Varianten können nur ex post-Erklärungen verwendet werden. Dementsprechend unbefriedigend bleibt hier, daß diejenigen Faktoren, die die (technische) Variation bewirken, als *random events*, *technological dicontinuities*, *technological breakthroughs* (Vgl. Kap. I, Abschnitt 4) bezeichnet werden. Was erklärungsbedürftig ist, wird so nur vorausgesetzt.[10] Schot (1991) verweist in seiner Kritik an der *Evolutionären Ökonomie* auf die Bedeutung, die bestimmten Formen der Institutionalisierung zukommt, die eine dynamische Kopplung von Herstellungs- und Verwendungskontext bewirken können. Er weist darauf hin, daß die selegierende Umwelt (Markt) selbst wiederum nicht unabhängig von (technischen) Variationen gedacht werden kann. Im Zuge der Variation technischer Optionen wird uno actu ein Bild über die selegierende Umwelt entworfen. Schon im Prozeß der (Weiter-)Entwicklung einer neuen Technik werden dieser Sichtweise nach Erwartungen gebildet, wie sich der Markt bzw. der Verwendungskontext als Selektionsinstanz verhalten wird. Dies erweist sich schon deshalb als unumgänglich, da mit der Entwicklung einer Technik immer schon Annahmen hinsichtlich des zukünftigen Nutzerverhaltens getroffen werden.

---

10 So im übrigen auch die Kritik von Belt, Rip (1987) am Nelson-Winter-Dosi-Modell. (Vgl. insbesondere 138f.)

Aber auch die Kontinuitätsthese argumentiert mit technik- oder technologieinhärenten Faktoren (am radikalsten: Basalla 1988). Wenn aber immer schon alles da war, wie beispielsweise Basalla argumentiert, führt dies dazu,

> "*daß er, seiner methodischen Regel folgend, für vorhandene Artefakte ständig Vorläufer suchen muß und damit entweder in einem infiniten Regreß endet oder bei der gleichermaßen trivialen wie falschen Feststellung, daß es keine eigentlichen Erfindungen gebe.*" (Grundmann 1994: 16)

Nur bei Rosenberg findet sich neben den technischen Dimensionen (Komplementarität, kumulative Veränderungen) mit dem Kriterium der *interindustriellen Beziehungen* zumindest eine explizite organisationale Dimension der Kontinuitätsthese. Obgleich auch hier die Einheit der Evolution noch nicht hinreichend bezeichnet wird und naheliegend ist, daß auch Rosenberg als Einheit der Evolution die Artefakte sieht, ist dies doch ein wichtiger Hinweis, um einen Perspektivenwechsel herbeizuführen.

Als Zwischenergebnis läßt sich also zusammenfassen, daß beide Varianten nahezu ausschließlich mit technologieimmanenten Kriterien operieren. Offen bleiben die Fragen nach der Einheit der Evolution, nach den Beobachtungskriterien und den Möglichkeiten eines Umbaus der Theorie. Es stellt sich also weiterhin die Frage nach einer zutreffenden Beschreibung der Technikentwicklung - mithin die Frage, ob nicht Kontinuitäts- und Diskontinuitätsannahmen gleichermaßen wichtige Erklärungselemente für den technischen Wandel bereitstellen?

Bevor die angesprochenen Fragen diskutiert werden, soll nun auf die techniksoziologische Konzeption des Gegenstandes *Technik* verwiesen werden. Die Technikgeneseforschung zeigt, daß aus einer isolierten Betrachtung der Technik, d.h. unter Ausschluß ihrer sozialen Entstehungs- und Verwendungskontexte, kein stichhaltiges Entscheidungskriterium für die Beantwortung der Frage nach dem Stellenwert von kontinuierlicher Entwicklung und revolutionärem Wandel der Technikentwicklung gewonnen werden kann.

> "*Technik ist nicht gleich Organisation, aber soziologisch faßbar, weil sozial relevant, ist Technik nur in Verbindung mit Organisation. Ohne eine auch noch so rudimentäre organisatorische Koppelung zwischen Menschen und Artefakten, also ohne einen organisatorischen Nukleus, hat Technik keine soziale Relevanz, keine soziale Wirkung.*" (Weingart 1989b: 177)

Gegenüber der in den Natur- und Ingenieurwissenschaften verbreiteten substantialisti-

schen Technikauffassung favorisiert die techniksoziologische Forschungsperspektive einen prozessualen und relationalen Begriff der Technisierung. (Vgl. Krohn 1989; Rammert 1989) Davon unterscheiden läßt sich die Technik als Produkt und Ergebnis von Habitualisierung, Mechanisierung und Algorithmisierung. (Rammert 1995: 15f.) Von Technisierung als einem Typus sozialen Handelns kann man sprechen, wenn soziale Handlungen schematisiert und routinisiert, in Regelsysteme übertragen und diese mithilfe formalisierter Verfahren mit anderen Routinen gekoppelt werden, wenn solche Schematisierungen auf sachliche Systeme übertragen und mit anderen Komponenten zu Maschinen oder Anlagen kombiniert und wenn Schematisierungen und regelhafte Relationierungen in formalisierten Verfahren algorithmisiert werden. (Vgl. Rammert 1995)

Während es im Kontext einer Untersuchung zu industriellen Innovationsprozessen als ausreichend angesehen werden kann, von Technik als Artefakt auszugehen, ist ein elaborierter soziologischer Technikbegriff so nur unzureichend erfaßt, wie die Begriffe Sporttechnik, Überredungstechnik und Kulturtechnik nahelegen. (Vgl. Krohn 1989) Aus der Vielfalt der Technik ergeben sich dementsprechend einige semantische Schwierigkeiten; denn sucht man nach einem Gegenbegriff zur Technik, zeigt sich, daß gängige Entgegensetzungen (etwa Natur, Leben, Soziales) Aporien mitführen. (Vgl. ebd.) Von hier gewinnt man die Vorstellung, daß es wenig sinnvoll ist, die Technik von der Natur, dem Lebendigen und der Gesellschaft abzukoppeln. Demgegenüber kommt es darauf an, diese Bereiche im Zusammenhang mit Technik zu relationieren. Ein relationaler Begriff der Technik geht von der Technisierung als einem sozialen Prozeß aus und setzt dementsprechend an der Organisationsweise technisch vermittelter Interaktionen an, d.h. an der sozialen Ausdifferenzierung der technischen Handlungszusammenhänge und Handlungsgegenstände. (Vgl. Rammert 1989)

Dennoch soll die Technik als Artefakt nicht vollständig aufgelöst werden in Erzeugungs-, Verwendungs- und Regulierungs*prozesse*, denn vom Standpunkt der Techniksoziologie wird auch auf die Differenz von Handlungs- und Sachsystemen verwiesen. (Vgl. Joerges 1995) Diese Differenz sollte allerdings nicht dazu verführen, einen strengen Gegensatz von Handlungs- und Sachsystemen zu postulieren, wie es beispielsweise die ingenieurwissenschaftliche Fragestellung nach einer Substituierung sozialer Handlungszusammenhänge durch physikalische Funktionszusammenhänge nahelegt; der springende Punkt ist vielmehr, daß aus einer soziologischen Perspektive auch der Umgang mit Sachsystemen selbst wiederum als technischer Umgang beobach-

tet werden kann. Beispielsweise können mit dem technischen Gegenstand 'Werkzeugmaschine' ein Sachgegenstand (Maschine), eine routinisierte Tätigkeit (Drehen, Fräsen, Bohren usw.) und eine Arbeitsorganisation (Werkstattfertigung, zentrale AV-Programmierung, etc.) beobachtet werden. Soziologisch relevante Differenzierungen der Technik können sich dementsprechend hinsichtlich der Komplexität des Funktionsaufbaus der Sachtechnik, des Qualifikationsprofils und der Organisationsweise des technischen Handelns ergeben.

Sowohl die sozialkonstruktivistische Technikforschung als auch die *Evolutionäre Ökonomie* haben gezeigt, wie es zu sozialen Schließungsprozessen und Pfadabhängigkeiten in unterschiedlichen Technisierungsprozessen kommt, die dann wiederum eine Art Heuristik weiterer Technisierung bilden, ohne daß es nötig wäre, auf einen substantiellen Technikbegriff zu rekurrieren, etwa im Sinne der Marxschen Metapher der *gefrorenen Naturwissenschaft*.[11] In einer rein ingenieurwissenschaftlichen Betrachtung der Technik bleibt es schwierig zu zeigen, daß Technisierung als sozialer Prozeß kontingent ist, da diese Kontingenz durch die technische Konstruktion verborgen bleibt:

> *"Die Technisierung ist eine Technik des Verdrängens sozialer Kontingenz und sozialer Ambivalenz in den Hintergrund. Erst wenn eine Technik anders als beabsichtigt oder gar nicht mehr funktioniert, wird die soziale Konstruiertheit der technischen Konstruktion wieder sichtbar. Das Vertrauen in das fraglose Funktionieren (vgl. Wagner 1994; Japp 1994) erlischt; das Artefakt wird nicht mehr als selbstverständliches Mittel menschlicher Praxis akzeptiert; es verwandelt sich entweder zu einem Risikofaktor und zu einem Experimentierfeld für neue Technik (Krohn, Weyer 1989), oder es landet als Erinnerungsstück im Museum, endet als Abfall auf dem Müll."* (Rammert 1995: 17)

Krohn (1989) verweist darauf, daß es schon im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts verstärkt zu einer Verschränkung von Technologieentwicklung, industrieller Forschung und Staatsforschung kam, in deren Folge sich ein neues Technikverständnis herauskristallisierte, der Artefaktbegriff weicht dem Begriff des sozio-technischen Systems. Organisationale und methodische Aspekte der Technik werden (wieder-)entdeckt. Paradigmatisch hierfür steht Edisons Elektrizitätssystem oder Fords Erfindung des Fließbandes. (34ff.)

---

[11] Gleichwohl ist darauf aufmerksam zu machen, daß es insbesondere Marx war, der darauf verwies, wie eng die technologische Dynamik mit der Entstehung kapitalistischer Institutionen verbunden ist. (Vgl. Rosenberg 1976)

> *"Die Zentrierung auf den Begriff der Organisation läßt eine Beschränkung des Technikbegriffs auf materielle Artefakte nicht mehr zu. Systemische Technik ist Organisation materieller wie nicht-materieller Komponenten. Ganz grundsätzlich verweist der neue Begriff darauf, daß Technik der Natur nicht näher steht als der Gesellschaft."* (36f.)

Der soziologische Blick identifiziert die Technik also nicht als einen Seinsbereich der Gesellschaft, sondern als eine besondere Relation in Sozialzusammenhängen. Ob dabei die Technik analog zur Sprache oder sozialen Normen konzipiert (Schmutzer 1995) oder als Medium der Kommunikation (Rammert 1995) oder als Installation in der Umwelt sozialer Systeme (Halfmann 1995) begriffen oder ob die Technik aus der kulturalistischen Perspektive als Träger machtbestimmter symbolischer Bedeutungen (Hörning 1995) angesehen wird, die genannte Relationierung von Technik innerhalb von Sozialzusammenhängen erscheint in allen genannten Arbeiten als ein gemeinsam geteilter Ausgangspunkt.[12] Ich möchte nun im folgenden diese Relationierung der Technik in Sozialzusammenhängen mit einer Analogie aus der Selbstorganisationstheorie beschreiben und dazu das Konzept der *Eigenlösung* einführen.[13]

In der Theorie nicht-linearer Systeme sind die sogenannten *Attraktoren* Systemzustände, die sich stabil reproduzieren. Sie sind für die Strukturbildung in dynamischen Systemen verantwortlich und ein Charakteristikum rekursiver Funktionen. Stationäre Lösungen in naturwissenschaftlich-mathematischen Wirkungszusammenhängen werden *Attraktoren* genannt.

> *"Stationäre Zustände haben eine Attraktoreigenschaft, die wie eine quasi-teleologische Kraft wirkt. Wegen ihrer Stabilität werden stationäre Zustände nämlich von allen Nachbarzuständen angesteuert, die innerhalb ihres 'Einzugbereichs' liegen."* (Krohn, Küppers 1995: 11)

In den Sozialwissenschaften haben sich in Anschluß an Arbeiten von Heinz v. Foerster

---

12 Zumindest soll darauf hingewiesen werden, daß auch theoretische Entwürfe existieren, die im Anschluß an die konstruktivistischen Arbeiten von Latour und Knorr-Cetina eine Beschreibungssprache für die "*Handlungsfähigkeit*" von Maschinen suchen, um diese in eine Theorie der "*Materialität des Handelns*" zu überführen, doch auch hier bildet die Frage, wie aus *Tat*sachen Tat*sachen* werden, den techniksoziologischen Ausgangspunkt. (Vgl. Joerges 1995)

13 Ich bevorzuge dieses Konzept anstelle des von Rammert verwendeten Medienkonzepts (1989; 1995), um naheliegende Assoziationen zur systemtheoretischen Medientheorie auszuschließen. Da Technik in systemtheoretischer Perspektive allenfalls in die Umwelt sozialer Systeme verwiesen werden kann (vgl. Halfmann 1995), sie selbst aber kein System bildet (vgl. Luhmann 1990), erforderte eine medientheoretische Betrachtung der Technik einen sehr speziellen theoriekonstruktiven Aufbau, um potentielle Theorie-Inkonsistenzen zu vermeiden.

(1984; 1992) die Begriffe *Eigenwerte* oder *Eigenlösung* durchgesetzt. (Vgl. auch: Krohn, Küppers 1992: 167, Fußnote 11) Damit soll betont werden, daß *Eigenlösungen* Resultate einer sozialen Konstruktion sind, die erreicht oder nicht erreicht werden können. Die Analogie zur Technisierung und zur Technik ergibt sich aus den drei folgenden Beziehungen:

(1) In der naturwissenschaftlich-mathematischen Bedeutung sind *Eigenlösungen* (streng genommen: *stationäre Zustände*) zeitlich invariante Lösungen eines nichtlinearen Gleichungssystems. Ob eine *Eigenlösung* gefunden wird, hängt von der Dynamik des Systems ab. Im hier verwendeten Zusammenhang der Technikentwicklung existiert ein solches 'Gleichungssystem' auch, aber es muß erst durch die Interaktionen der Akteure aufgebaut werden. Die Akteure müssen festlegen, welches die entscheidenden Variablen der Problemstellung sind. So können beispielsweise die ersten Kontakte und Verhandlungen zwischen Herstellern und Verwendern - z.B. über Leistungsmerkmale, Funktionseigenschaften, arbeitsorganisatorische Bedingungen etc. - als Prozesse der Festlegung der Variablen eines 'Gleichungssystems' konzeptionalisiert werden. Um nun die Analogie fortzuführen, wird weiter angenommen, daß solche Variablen miteinander in *dynamische Abhängigkeiten*[14] gebracht werden: höhere Leistungsanforderungen erfordern andere Werkstoffe, ein weiterer Verwendungszweck erfordert ein verändertes Design und eine andere Software, die spätere Vernetzung mit einer anderen Technik erfordert zusätzliche Komponenten usw. Der optionale Umgang mit diesen Variablen und ihren *dynamischen Abhängigkeiten* sowie die tentativen Bemühungen von Herstellern und Verwendern, rekursiv ein Konzept festzulegen, können in Analogie zum 'Gleichungssystem' als ein Rahmen zur Suche nach *Eigenlösungen* betrachtet werden.[15]

(2) Die Technik kann dann als die *Eigenlösung* für die Kommunikations- und Kooperationsprozesse zwischen Technikentwicklern, Nutzern und denjenigen (kol-

---

[14] Der Begriff der *dynamischen Abhängigkeit* bezeichnet in der Selbstorganisationstheorie eine Verallgemeinerung und Präzisierung des Begriffs der Interaktion: "*Die Verallgemeinerung besteht darin, daß Interaktionen nicht nur zwischen jeweils zwei Größen stattfinden, sondern im Extremfall simultan zwischen allen Größen des Systems. Auf diese Weise wird ein zu einfacher Kausalbegriff vermieden, der nur die Einwirkung einer einzigen Größe auf eine einzige andere zuläßt.*" (An der Heiden 1992: 62)

[15] Vgl. auch Schiepek, Küppers 1995.

lektiven) Akteuren, die an der Regulierung von Technik beteiligt sind, bezeichnet werden. Kommunikations- und Kooperationsprozesse zwischen Herstellern und Verwendern einer Technik lassen sich unter der Fragestellung beobachten, wie kontingente Aushandlungsprozesse zwischen ihnen zu einer stabilen technischen Lösung - der *Eigenlösung* - führen.

(3) Der Mechanismus zum Auffinden der *Eigenlösung* besteht in der Rekursivität technischen Handelns. Die Annahme ist, daß in rekursiv verknüpften Kommunikationen zunächst lose Vereinbarungen (Optionen) über bestimmte technische und organisatorische Lösungen getroffen werden, die im weiteren immer konkreter fixiert werden. Stufen solcher Fixationen können das Festlegen von Optionen (Leistungsmerkmale, Funktionen etc.), das Erstellen eines Pflichtenheftes oder die Modellerstellung sein. Solche Fixationen bilden dann wiederum den Input für weitere Aushandlungsprozesse (verstanden als interne Selektionen), die zu einer *Eigenlösung* führen. Zu bedenken ist allerdings, daß Innovationsprojekte aus unterschiedlichen Gründen scheitern können. Für diesen Fall müßte man - um im Rahmen der Analogie zu bleiben - beispielsweise zeigen können, daß es nicht gelungen ist, die 'richtigen' Abhängigkeiten zwischen den relevanten Variablen aufzubauen, oder daß sich die Anfangsbedingungen so verändert haben, daß keine *Eigenlösungen* mehr existieren. Wenn beispielsweise die Variablen 'Umweltverträglichkeit' und 'Preise' nicht in eine 'richtige' Abhängigkeit voneinander gebracht werden, steht zu erwarten, daß - aufgrund zu hoher Kosten - die Technik nicht erzeugt wird.

Eine Analogie zu bilden ist nun aber kein Selbstzweck. Es gilt die Frage zu beantworten, was gewonnen wird, wenn, anders als mit dem in der *Evolutionären Ökonomie* benutzten Variations-Selektions-Modell, die Technikentwicklung mithilfe einer Analogie aus der Selbstorganisationstheorie beobachtet wird.

Ein erster Vorteil dieser Analogie gegenüber der der klassischen biologischen Evolutionstheorie bildet der Verzicht auf die Annahme, daß allein eine externe Selektion steuert.[16] Der hier entwickelten Konzeption nach ergeben sich die Selektionen allein aus den dynamischen Abhängigkeiten innerhalb der technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsysteme durch die operationale Schließung des Gesamtprozes-

---

[16] Die Problematik eines solchen (externen) Kriteriums wurde weiter oben herausgearbeitet.

ses. Technikentwicklung, -verwendung und -regulierung sind dynamisch rückgekoppelt. Das aber heißt, die Beziehungen zwischen Innovations- und Organisationsdynamik vorteilhafter modellieren zu können. Im Rahmen der Theorie selbstorganisierender Systeme ergeben sich die *Eigenlösungen* aufgrund der operationalen Schließung. Für gleiche und erst recht ähnliche Systeme (hier: Verwendungszusammenhänge) sind theoretisch mehrere *Eigenlösungen* möglich. Welche Lösung (hier: Technik) gefunden wird, hängt also ab von der Dynamik, die im 'Gleichungssystem' aufgebaut wird. Somit können also auch unterschiedliche lokale und kontextspezifische technische Lösungen theoriekonform beschrieben werden.

Aus diesem Zusammenhang heraus läßt sich zweitens auch eine neue, interessante Alternative zum Technikdeterminismus formulieren: Nicht alle technischen Lösungen sind gleichermaßen wahrscheinlich, da den jeweiligen Anfangsbedingungen (Preise, Lieferzeiten, Leistungsmerkmale) und den *Randbedingungen* eine entscheidende Rolle zukommt.[17] Entscheidend ist, daß die Art und Weise, wie die von den Akteuren festgelegten Variablen in *dynamische Abhängigkeiten* gebracht werden und zur Festlegung der Anfangsbedingungen führen, ex ante nicht vorhersagbar ist. Aufgrund der dynamischen Abhängigkeiten von den Variablen sind multiple technische *Eigenlösungen* möglich. So gibt es zwar keinen *one best way*, gleichwohl aber auch keine prinzipielle Beliebigkeit der Technikentwicklung.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, das auch der Technikfolgendeterminismus, verstanden als die Annahme, daß einer bestimmten Technik eine optimale Organisationsform entspricht, theoretisch relativiert werden kann, da in der hier eingeführten Analogie die Organisationseigenschaften mit zu denjenigen Variablen gerechnet werden müssen, die die Suche nach dem Auffinden einer Eigenlösung konditionieren. Technische Optionen und organisationale Bedingungen stehen in einer wechselseitigen dynamischen Abhängigkeit voneinander, nicht aber in einem einseitigen Kausalverhältnis, demzufolge eine bestimmte Technik eine bestimmte Organisationsform prädeterminieren würde.

Ein letzter Vorteil bezieht sich auf die weiter oben formulierte Kritik an der

---

17 Technisierungsprojekte unterliegen auch spezifischen *Randbedingungen* (z.B. Konkurrenzsituation, regulative Vorgaben, technische Normen, Verordnungen etc.), die nicht ohne weiteres willkürlich verändert werden können. Allerdings ist darauf zu verweisen, daß es für die Theorie selbstorganisierender Systeme entscheidend ist, "*daß die Randbedingungen in einem rückgekoppelten Bezug zur Systemdynamik stehen.*" (Krohn, Küppers 1989a: 44)

trajectory-Metapher. Diese wurde als eine zu starre Vorstellung gegenüber den empirisch beobachtbaren Umnutzungen und fortlaufenden Modifikationen zwischen den Anfangsvisionen der Technikentwickler und den tatsächlichen Anwendungsfällen der Technikverwender kritisiert. Die Technisierung als einen Prozeß der Suche nach *Eigenlösungen* zu konzeptualisieren, nimmt nun die Idee der sozialen Schließungsprozesse und der dabei erzeugten Pfadabhängigkeiten der *Evolutionären Ökonomie* auf, vermeidet aber das zu starre Bild einer gerichteten Flugbahn.

Technischer Wandel folgt weder einer Strukturlogik, die sozial nicht beeinflußbar wäre, noch ist er ausschließlich intendiertes Ergebnis technischer Handlungen. Auch wenn Innovationsprojekte intendiert und planmäßig bzw. strategisch verfolgt werden, so ist wegen der Unbestimmtheit der Nutzungsvisionen der Erzeuger, dem Interpretationsspielraum der Nutzer, den vielfältigen nichtvorhersehbaren Rückkopplungen und Transformationen, die Technik in diesen Innovationsprojekten erfährt, der technische Wandel zwar durch die Rekursivität technischer Handlungen gekennzeichnet, aber selten genau vorhersehbar.

Da in der Technikgeneseforschung eine hohe Übereinstimmung darüber besteht, die Entgegensetzung von technischem und sozialem Handeln zurückzuweisen, geht es bei der Untersuchung von Innovationsprozessen aus techniksoziologischer Sicht theoretisch wie empirisch nicht allein um die Beobachtung der Entwicklung von Maschinen, Anlagen oder Produktionsverfahren. In soziologischer Perspektive interessieren insbesondere die Kommunikations- und Kooperationsprozesse ebenso wie die Organisationsweisen in unterschiedlichen Technisierungsprojekten. Technisches Handeln in diesen Kommunikations- und Kooperationsprozessen ist ebenso auf organisierte und intendierte wie situative und ungeplante Problemlösungsstrategien zu beziehen: technisches Handeln ist orientiert am Auffinden einer *Eigenlösung*.

Diese Dynamik wird nun in den beiden nächsten Abschnitten (Abschnitte 3 und 4) weiterverfolgt. Zunächst wird das Konzept *Innovation als rekursiver Prozeß* entfaltet. Hier werden die zentralen Annahmen und Hypothesen für die empirische Untersuchung herausgestellt. Gleichzeitig sollen damit die Voraussetzungen benannt werden, um abschließend den technischen Wandel als Evolution technikerzeugender, -verwendender und -regulierender Sozialsysteme zu kennzeichnen.

3. Innovation als rekursiver Prozeß

Das technikhistorische Interesse an der Invention, Innovation und Diffusion neuer Techniken richtete sich häufig auf die Geschichten großer Erfinder oder Erfindungen, nicht selten werden historische Etappen technologisch begründet; soziologisch inspirierte Arbeiten favorisieren demgegenüber die Analyse der institutionellen und organisationalen Kontexte und beziehen Erzeugungs-, Verwendungs- und Regulierungskontexte von Technik reflexiv aufeinander. Das programmatische Selbstverständnis der Techniksoziologie zielt darauf ab, technischen und sozialen Wandel nicht als Gegensatzpaar oder lineares Kausalitätsverhältnis zu interpretieren, sondern als ineinander verschränktes Wechselverhältnis von technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsystemen, in denen es keine Vorrangigkeit von Kausalität gibt:

> "*Eine soziologische Theorie der Technik muß die Technik in einer Weise integrieren, daß sie den gleichen analytischen Stellenwert hat wie alle anderen Elemente der Theorie. D.h., die Technik darf in der Theorie nicht als 'exogene' Kraft erscheinen, die der Analyse nicht zugänglich ist. Die Technik muß in die Theorie sozialen Wandels einbezogen sein, und damit einhergehend muß die Trennung zwischen Modellen der Technik als Kausalfaktor sozialen Wandels und Modellen der sozialen Determinierung der Technik aufgehoben werden. Eine Theorie sozialen Wandels müßte beide Aspekte, gesellschaftlichen Wandel und Technikentwicklung, als aufeinander bezogene Prozesse auf die gleiche analytische Erklärungsform bringen.*" (Weingart 1989c: 12)

Um dieser methodologischen Regel zu folgen, muß ein theoretischer Rahmen, der Technikentwicklung bzw. technische Innovation als sozialen Prozeß erklären will und der Marktimpulse, institutionelle und soziale Faktoren sowie wissenschaftliche Entwicklungen in einen kohärenten Bezugsrahmen stellen kann, den engen Rahmen ökonomischer oder technologischer Erklärungsmodelle aufgeben und ein komplexeres und gleichzeitig dynamisches Modell entwickeln.

Im Rahmen meiner Untersuchung zur technischen Innovation und zum technischen Wandel bezeichnet der Begriff *Innovation* den sozialen Prozeß der Technikgenese, einen Prozeß der Transformation von wissenschaftlichem und technischem Grundlagenwissen und antizipierten Nutzungsvisionen, von institutionellen Entscheidungen und kulturellen Leitbildern, praktischen Erfahrungen mit der Entwicklung einer Technik, den kaufmännischen, marktorientierten Überlegungen und nicht zuletzt der Transformation von Interessen und Utopien zur Gestaltung der Arbeit in neue marktfähige Produkte

und Verfahren, die in einer "*zweiten Transformation*" (Schumm 1992) in den sozialen Verwendungskontext einer betrieblichen Produktion zurückübersetzt werden müssen und von dort wieder zahlreiche Lernprozesse und Rückkopplungen, bis hin zur Grundlagenwissenschaft, auslösen (können).[18] Diese Definition wird in der Konzeption *Innovation als rekursiver Prozeß* entfaltet. (Abschnitt 3.2) Zuvor werde ich jedoch die Kategorien der technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsysteme einführen. (Abschnitt 3.1)

3.1 Technikerzeugende, -verwendende und -regulierende Sozialsysteme

An der Innovation sind unterschiedliche individuelle und kollektive Akteure, Institutionen und Organisationen beteiligt: Wirtschaftsorganisationen, die Techniken entwickeln und verwenden, wissenschaftliche Institute und außerbetriebliche Forschungseinrichtungen, die technologische Probleme lösen und Technologietransfer betreiben, Normungsausschüsse und Behörden, die den *Stand der Technik* definieren ebenso wie politische Entscheidungsträger und intermediäre Organisationen, die beispielsweise über Fragen der Sozial- und Umweltverträglichkeit debattieren, *Regulierungsprogramme* entwickeln und Folgenabschätzungen vornehmen. Innovationsprozesse speisen sich aus vielfältigen Quellen. Wie im vorhergehenden Abschnitt herausgestellt, ist in einem modernen Sinn Technik nicht von Organisation zu trennen. Deshalb verlagert die wissenschaftliche Beobachtung des Innovationsgeschehens die Aufmerksamkeit vom Erfindungs- zum Organisationsprozeß.

Unter den modernen Bedingungen einer funktional ausdifferenzierten Gesellschaft ist Technik nur im Zusammenhang mit den verschiedenen Sozialsystemen der Gesellschaft denkbar. Mit dem Begriff der Sozialsysteme sind über die Funktionssysteme der Gesellschaft hinaus insbesondere auch die industriellen Organisationen einbezogen. Auch diejenigen technischen Innovationen, die sich an Endnutzer (Konsumenten) wenden, sind in systemische Zusammenhänge (*Technostrukturen*) integriert, die beachtet werden müssen, soll eine Innovation erfolgreich sein.

---

18 Wenn im späteren empirischen Teil von Produktinnovationen gesprochen wird, ist auch dann der soziale Erzeugungs- und Verwendungsprozeß von Technik gemeint. Innovationen als Ergebnisse sind in diesem Zusammenhang sachliche Artefakte, also Techniken in einem techniksoziologisch eingeschränkten Sinn.

So setzt heute einfache Haushaltstechnik hochkomplexe Zusammenhänge voraus. Was im Wirtschaftssystem der Gesellschaft ohnehin evident ist, gilt auch für die morgendliche Toilette, die mittägliche Essenszubereitung und die abendliche Nachrichtensendung im Fernsehen oder Radio. Das Duschen setzt ein weitverzweigtes Ver- und Entsorgungsnetz für Trink- und Abwasser ebenso voraus, wie eine Installationstechnik, eine kosmetisch-pharmazeutische Industrie und eine Elektroindustrie, die die benötigten Geräte herstellt. Das mittägliche Kochen wiederum setzt entsprechende Energieversorgungswerke ebenso wie eine Abfallwirtschaft voraus, eine haushaltstechnische Industrie und eine Lebensmittelindustrie, die wiederum nicht ohne ein Transportwesen auskommen könnte. Und werden in den jeweiligen Nutzungszusammenhängen Risiken thematisiert (etwa FCKW in Kühlschränken oder Spraydosen, Cadmium und Quecksilber in Batterien usw.) wird eine regulative Politik verlangt, die normalerweise mit dem Ruf nach mehr oder anderer Technik Unsicherheit bearbeitet. Wie dies für die abendliche Nachrichtensendung aussieht, muß nicht noch ausgeführt werden, um zu verdeutlichen - obwohl die jeweiligen Voraussetzungen und Folgen gar nicht systematisch aufgeführt wurden -, welche immensen Erzeugungs-, Beseitigungs- und Regulierungskontexte aufrechterhalten werden müssen, damit triviale, alltägliche Verwendungskontexte funktionieren.

Mit den Kategorien der technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsysteme möchte ich diesen Sachverhalt der organisierten Erzeugung, Nutzung und Regulierung von Technik zum Ausdruck bringen.[19] Im Anschluß an theoretische Konzepte gesellschaftlicher Selbstorganisation (vgl. Luhmann 1984; Willke 1989) werden hier industrielle Organisationen als Sozialsysteme der Gesellschaft bezeichnet. In der systemischen Organisationstheorie, der ich hier folge, werden Organisationen allgemein als evoluierende Sozialsysteme konzipiert. (Vgl. Luhmann 1994; als Überblick Kieser 1994: 243ff.) Seitdem empirische Arbeiten und theoretische Forschungen Zweifel an der Umweltdeterminiertheit bzw. -abhängigkeit von Organisationen und der These der Zweckrationalität formaler Organisationen begründen (Thompson 1967), entwickeln sich organisationssoziologische Ansätze, deren paradigmatischer Kern die Idee der Selbstorganisation bzw. Selbstreferenz ist. (Tacke 1995) Organisationen sind in dieser Perspektive sich selbst steuernde Gebilde, sie sind nicht fremddeterminiert, sondern

---

[19] Ich folge hier zum Teil einer früheren Theoriekonzeption von Rammert (1989b).

folgen einer selbstbezüglichen Praxis, indem sie das, was ihnen in der Umwelt zum Problem wird, auch selbst definieren. (Vgl. Luhmann 1981, 1994; Weick 1985; Willke 1996)[20] Gegenüber der Konzeption des *sozio-technischen Systems*, wo alle Elemente des Systems (Technik, Organisationen, soziale Akteure) unterschiedslos auf der gleichen Ebene verortet werden und so die Trennung von Sozialem und Technischem weiter mitgeführt wird, haben diese Kategorien den Vorteil, den Prozeß des Technisierens in den Vordergrund zu rücken. Technik ist dieser Konzeption nach kein Element der technikbezogenen Sozialsysteme. Wie gezeigt, werden die Artefakte hier als eine *Eigenlösung* von rekursiven Operationen innerhalb der technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsysteme verstanden. Theoriestrategisch wird einerseits die ingenieurwissenschaftliche Reduktion auf einzelne Artefakte, Sachtechnik etc. vermieden, ebenso aber auch die entgegengesetzte Reduktion, Technik in die Umwelt sozialer Systeme zu verweisen, wie dies beispielsweise bei Halfmann (1995) geschieht und dort zu dem Problem führt, nur zwei Zustände zuzulassen, einerseits die funktionierende Technik, die dann als *Installation* in der (außersozialen) Umwelt sozialer Systeme angesehen wird, andererseits die störanfällige Technik, die soziale Systeme irritiert und dementsprechend Kommunikation über Technik auslösen kann. Der Innovationsprozeß ist aber über eine solche Codierung nur schwer zu erfassen, da Funktionalität und Kontextualität einer technischen Innovation noch nicht vorausgesetzt werden können (u.a. wegen den potentiellen Differenzen zwischen Entwurf, Herstellung, Implementation und Dauerbetrieb einer Technik) und Störanfälligkeit (Irritationen) zunächst nur vermutet werden kann, da der Implementationsprozeß noch nicht abgeschlossen ist. Forschungsstrategisch interessant sind aber gerade die oszillierenden Bemühungen der Unternehmen zwischen der Kontextualisierung, Dekontextualisierung und Rekontextualisierung von Technik.

In einem historischen Ausdifferenzierungsprozeß entstehen die technikbezogenen Rollen und organisierten Sozialsysteme, die für Innovationen zuständig sind.[21] Zunächst

---

20 Nicht unumstritten ist allerdings, inwieweit Organisationen als autopoietische Sozialsysteme zutreffend gekennzeichnet sind. (Vgl. Berger 1987: 141ff.; Teubner 1987: 117ff.; Kirsch 1992: 231ff.)

21 Noch die Zünfte unterbanden aus Bestandsgründen heraus Innovationen, waren sie doch für mehrere gesellschaftliche Funktionen (ökonomische, politische, rechtliche) zuständig, die sich häufig paralysierten. (Kieser 1994: 264f.)

führt die Ausdifferenzierung einzelner Funktionen zu effizienteren (hier: ökonomischen) Verfahren. Die Entstehung von spezialisierten Systemen (hier: Organisationen) kann als ein Mittel der evolutionären Leistungssteigerung von Gesellschaften angesehen werden. Mit zunehmender Spezialisierung von Funktionen und gleichzeitiger interner Differenzierung wird die Evolutionsgeschwindigkeit enorm beschleunigt: "*Differenzierte Systeme sind leistungsfähiger als undifferenzierte Systeme.*" (Luhmann 1972: 73) Die Zusammenführung von Technik und Organisation in unterschiedlichen Sozialzusammenhängen läßt sich historisch in der Manufaktur, später im Taylorismus, der Psychotechnik, der Ergonomie und den Arbeitswissenschaften und heute zusätzlich im "*knowledge engineering*" beobachten. Das Verallgemeinerungsfähige dieser Zusammenführung von Technik und Organisation besteht in der

> "*Suche und Erprobung neuer Technisierungsformen und ihre(r) systematische(n) Sammlung und Verknüpfung zu technologischen Disziplinen ... Es entstehen die technikerzeugenden Sozialsysteme auf den verschiedenen Ebenen der Gesellschaft.*" (Rammert 1989: 166)

Zu diesen technikerzeugenden Sozialsystemen zählen neben den genannten technologischen Disziplinen insbesondere industrielle Organisationen mit ihren ausdifferenzierten Forschungs- und Entwicklungsabteilungen, außerbetriebliche Forschungsinstitute sowie Ingenieur- und Konstruktionsbüros. Daneben gehören die technikverwendenden Sozialsysteme historisch und genetisch zum Gegenstandsbereich der Techniksoziologie. Im Kontext technischer Innovation sind dies vornehmlich wiederum industrielle Organisationen und erst *in letzter Instanz* Endverbraucher, die aber ihrerseits wiederum - wie das obige Beispiel zeigen sollte - in technikverwendende Sozialsysteme einbezogen sind.[22]

Mit der steigenden Komplexität und funktionalen Differenzierung der Gesellschaft wird eine weitere Spezialisierung von Funktionen innerhalb des Wirtschaftssystems wahrscheinlich. Mit Rosenberg (1975) habe ich gezeigt, wie der industrielle Differenzierungsprozeß Mitte des 19. Jahrhunderts zur Herausbildung einer spezialisierten Branche führt, die technische Innovationen für unterschiedlichste Verwendungszwecke produziert. War bis dahin von einer Einheit von Herstellung und Verwendung

---

22 Bezogen auf meine empirische Untersuchung (vgl. Kap. 3 und 4) sind technikverwendende Sozialsysteme ausschließlich industrielle Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen sowie in einzelnen Fällen außerbetriebliche Forschungsinstitute, die aber soziologisch als Organisationen betrachtet werden, da diese sich über Mitgliedschaftsregeln definieren lassen.

von Werkzeugmaschinen auszugehen, führte nun die *vertikale Desintegration* (Rosenberg 1975) zu Spezialisierungen in unterschiedlichen Branchen. Auch interne Differenzierungsprozesse innerhalb einzelner Branchen gewinnen nun Bedeutung und mit der Entstehung von Massenmärkten lassen sich spezialisierte Anbieter von Serienhersteller ebenso wie technologische Führer von Imitatoren usw. unterscheiden. Das von Rosenberg herausgearbeitete *technologische Ungleichgewicht* sorgt nun dafür, daß ein dynamischer Rückkopplungsprozeß zwischen den technikerzeugenden und technikverwendenden industriellen Organisationen dem Innovationsprozeß laufend neue Nahrung verschafft. Neben dem Werkzeugmaschinenbau finden sich in der Frühphase der Industrialisierung Prozesse des *technologischen Ungleichgewichts* und der weiteren Ausdifferenzierung von Branchen in der Textilindustrie, den Grundstoffindustrien, der Energieversorgung und der Transporttechnik. (Vgl. Paulinyi 1989) Die zunehmende Interdependenz der sich herausbildenden Branchen steigert den Komplexitätsgrad der Wirtschaft, ihre Innovationsdynamik und Produktvielfalt und führt zur Herausbildung der technikregulierenden Sozialsysteme. Die technikregulierenden Sozialsysteme sind der hier konzipierten Theorie nach insbesondere für das Setzen von *Randbedingungen* verantwortlich. Regulierung bezieht sich zunächst auf Passungen, Industrienormen, Patente, Konstruktionszeichungen usw., im weiteren dann auf das Bereitstellen gesellschaftlicher Vorleistungen - beispielsweise staatliche Ausbildungseinrichtungen, Gewerbeförderung, Forschungsförderung, Technologiepolitik - für das gesamte Innovationssystem. Die Innovationsdynamik wird nun auch davon abhängig, inwieweit Kooperations-, Kommunikations- und Lernprozesse zwischen den technikerzeugenden und -verwendenden industriellen Organisationen durch die technikregulierenden Sozialsysteme gefördert oder blockiert werden. Auch hier kann zunächst nur in einem quasiexperimentellen Lernprozeß herausgefunden werden, welche Leistungen der Innovationsdynamik förderlich sind. So wirkten sich beispielsweise Patentrechte in der Frühphase der Industrialisierung eher diffusionshemmend als -fördernd aus, ebenso bremste die britische Handelspolitik der Exportverbote von Produktionsmitteln die weiteren Innovationsaktivitäten der Maschinenbauer. (Vgl. Paulinyi 1989: 226, 229) Als Beispiel für eine Beschleunigung der Innovationsdynamik kann die Normierung von häufig wiederkehrenden Maschinenteilen und Gewinden gelten, da diese den Technologietransfer zwischen den Unternehmen begünstigte.

In der Sprache der modernen Systemtheorie lassen sich die technikregulierenden Sozialsysteme unter dem Begriff der "*Kontextsteuerung*" (Willke 1987; Teubner, Willke 1984) analysieren: Die Akteure dieser Sozialsysteme moderieren und konditionieren die Technikerzeugung und -verwendung, sie sind als *Verhandlungspartner* beteiligt an den Aushandlungsprozessen über Normierung, Standardisierung und Transferleistungen von Technologie und Technik und eine erfolgreiche *Regulierung* wird zunehmend abhängiger von Zustimmung oder Ablehnung der Technikerzeuger und -verwender, wie umgekehrt diese *Technikregulierung* hervorrufen und stimulieren durch die Globalisierung der Märkte und die soziale und ökologische *Riskanz* bestimmter Technisierungspfade. In der hier bevorzugten Terminologie der Selbstorganisationstheorie setzen die technikregulierenden Sozialsysteme die *Randbedingungen* für die Technikerzeugung und -verwendung. Diese *Randbedingungen* stehen in einem rückgekoppelten Bezug zur Systemdynamik. D.h.: Die Veränderung von *Randbedingungen* kann dazu führen, daß bestehende *Eigenlösungen* instabil und neue *Eigenlösungen* erforderlich werden. (Vgl. auch Krohn, Küppers 1989a: 137)

Technikregulierung bezieht sich u.a. also auf Normierungsprozesse, Patent- und Lizenzvorschriften, Exportmodalitäten, Subventionierung und Deregulierung, Technologietransfer und -politik, Emissionsgesetze, usw. Dahinter stehen wiederum sehr heterogene Akteure, wie verschiedene Institute für Normung, Verbände, Branchenvereinigungen, Technologieberatungsstellen und politische Ausschüsse. Wichtig ist, daß in dem hier entwickelten Modell technikregulierende Sozialsysteme Innovationsprozesse restringieren oder begünstigen können, dies aber jeweils nicht in der Form einer materialen Vorgabe der Innovation, sondern - wie Untersuchungen im Bereich staatlicher Infrastrukturtechnik belegen - nur indirekt über das Setzen von Randbedingungen.[23]

3.2 Rekursive Innovation

Das Konzept *Innovation als rekursiver Prozeß* wendet sich gegen eine lineare Modellierung der Technikentwicklung. Es entfaltet die These, daß sich die Entwicklung einer neuen Technik nicht über verschiedene (Entwicklungs-)Stufen oder Phasen geradlinig von der ersten Idee bis zum Implementationsprozeß beim Verwender durchsetzt, son-

---

[23] Vgl. dazu beispielhaft die Arbeiten des Kölner Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung (Mayntz 1993, Mayntz, Schneider 1995, Schmidt, Werle 1994, Werle 1995).

dern daß sie von zahlreichen Rückkopplungsschleifen, Iterationen und Überschneidungen in allen Phasen der Innovation charakterisiert ist.

Die zirkuläre Kopplung von Technikentwicklung und -verwendung möchte ich mit dem Begriff der *Rekursion* zum Ausdruck bringen. *Rekursivität* bezeichnet im allgemeinen eine Abfolge von Prozessen, in denen Operationen aus Inputs Outputs erzeugen und der Output wiederum zum Input wird, so daß eine Abfolge von Ereignissen entsteht. Eine solche Abfolge von Ereignissen wird in der Sprache der Selbstorganisationstheorie als rekursive Operation bezeichnet. (Küppers 1995: 22) Im hier verwendeten Sinne ist ein wechselseitiges Steigerungsverhältnis zwischen Technikentwicklung und -anwendung gemeint. Herstellung und Verwendung von Technik befinden sich in einem gegenseitigen Stimulationsprozeß: mit der Steigerung technischen Wissens wachsen die Erzeugungsmöglichkeiten und umgekehrt führt die Zunahme von neuen Verwendungen, Implementationswissen und Lernprozessen über Rückkopplungsschleifen zu neuem technischen Wissen. Die Möglichkeiten weiterer Technisierung wachsen. Solange nicht die Mechanismen der rekursiven Operationen unterbrochen werden, haben wir es mit einem prinzipiell infiniten Prozeß zu tun.

Der konzeptionelle Aufbau meines Modells besteht nun erstens in der Annahme, daß in der Entwicklung einer neuen Technik immer schon Vorstellungen über einen Verwendungskontext enthalten sind. In evolutionstheoretischer Sprache bedeutet dies, daß mit jeder technischen Variation der Versuch verbunden ist, die Bedingungen der Selektion zu antizipieren. Die zweite Annahme besteht darin, daß Technikimplementation und -nutzung immer wieder zu Rückkopplungen dieses Verwendungskontextes zum Erzeugungskontext führen. Solche Rückkopplungen sind denkbar in Form vorgängiger Problemdefinitionen der Verwender, Umnutzungen und Modifikationen der Prototypen vor der seriellen Produktion oder während einer Implementation, ebenso wie in gemeinsamen Entwicklungs- und Implementationsprojekten zwischen Herstellern und Verwendern.

Aus den ersten beiden Annahmen folgt als dritte Annahme, daß Technikentwicklung und -verwendung prozedural und strukturell gekoppelt sind. Technikentwicklung resultiert folglich aus der zirkulären Schließung von technikerzeugenden und verwendenden Sozialsystemen deren Evolution durch technikregulierende Sozialsysteme konditioniert ist.

Der Vorteil, Innovation als einen rekursiven Prozeß aufzufassen, liegt darin, die Aufmerksamkeit auf einen verlaufsoffenen und schwer abschließbaren Vorgang zu fokussieren, in dem jede Variable Ursache und Wirkung, Voraussetzung und Folge zugleich ist. Der exklusive Blick entweder auf die Erzeugung oder auf die Verwendung einer Technik führt nur zur Hypostasierung eines Teilaspektes dieses Prozesses. Die Einschätzung der Entwicklung sollte aber nicht davon abhängig sein, "*wo man die Kausalschleife beginnen und wo man sie enden läßt.*" (Weick 1985: 215)

Die auf Dauer gestellte Innovationsdynamik resultiert aus einem *technologischen Ungleichgewicht*, den unterschiedlichen Lernprozessen bei den Herstellern (*learning by doing*) und den Verwendern (*learning by using*), den konkurrenziellen Bedingungen der *community* der Technikerzeuger und auch aus den technikgenese-relevanten *Randbedingungen*. Diese schränken allerdings nur die internen Selektionen ein, determinieren aber nicht die Innovationsverläufe. D.h. daß diese zwar den Spielraum der Innovationsdynamik begrenzen oder ausweiten können, für die Innovation selbst bleiben sie aber unspezifisch: sie treffen keine positive Auswahl über die konkrete Gestalt von Artefakten.

Während in der *evolutionären Ökonomie* von zwei unabhängigen Prinzipien (Variation und Selektion) ausgegangen wird und Anpassung als eine Folge der selektiven Wirkung der Umwelt gesehen wird, wird hier - in Anlehnung an das Konzept der Selbstorganisationstheorie - davon ausgegangen, daß die Anpassung eine Leistung der internen Dynamik technikerzeugender und -verwendender Sozialsysteme ist.

Wie das Beispiel der neuen Informations- und Organisationstechniken zeigt, erfahren aktuelle produktionstechnische Innovationspfade neuartige Herausforderungen, welche weitgehende Veränderungen in sachlicher, zeitlicher und sozialer Hinsicht nach sich ziehen: Durch die *systemische Rationalisierung*[24], d.h. durch Innovationsprojekte die arbeitsplatz-, abteilungs- und betriebsübergreifend ansetzen, werden die Bezugspunkte einer Innovation sachlich erheblich komplexer, zeitlich langfristiger und sozial disponibler. Alle drei Aspekte führen zu hoher technologischer Unsicherheit und Marktintransparenz:

- In **sachlicher** Hinsicht richten sich die gegenwärtigen Technisierungsprozesse zunehmend weniger auf die Substitution von Arbeitskraft. Sie zielen vielmehr

---

[24] Vgl. Altmann u.a. 1986; Baethge, Oberbeck 1986; zur Diskussion: Bergstermann, Brandherm-Böhmker 1990; Bechtle 1994.

darauf, "... *betriebliche Teilprozesse in datentechnischen Dimensionen zu erfassen, organisatorisch neu zu ordnen und letztlich datentechnisch zu vernetzen.*" (Altmann u.a. 1986) Es geht also um die Reorganisation der gesamten betrieblichen und zwischenbetrieblichen Produktions- und Arbeitsprozesse, insbesondere darum, die Lagerbestände zu reduzieren (just-in-time-production), die Durchlaufzeiten zu verringern und die Flexibilität am Markt zu erhöhen. Die Bezugspunkte einer solchen Technisierung können in der wachsenden Multidimensionalität der Aufgabenstellung und Kontextspezifität eines Verwendungskontextes gesehen werden. Die Multidimensionalität der Aufgabenstellung verlangt, daß unterschiedliche betriebliche Teilaspekte zu einer integrativen Lösung zusammengeführt werden. Dies impliziert häufig, daß der Technikhersteller mit weiteren Komponenten- und Softwareherstellern zusammenarbeiten muß. Die Kontextspezifität eines Verwendungszusammenhangs führt dazu, daß große Serien unwahrscheinlich werden, die Übertragbarkeit von Lösungen aus einem Verwendungszusammenhang auf einen anderen höchstens partiell gelingen kann und die experimentellen Erprobungen eines Prototypen nicht mehr allein beim Technikhersteller durchgeführt werden können. Das Verwenderunternehmen wird zum *Labor für Eigenlösungen.*

- In **zeitlicher** Hinsicht weiten sich solche Innovationsprojekte, insbesondere die Implementationsphasen, enorm aus. Die Einführung computerunterstützter Produktionstechniken und Produktionskonzepte erstreckt sich zum Teil über mehrjährige Implementationsphasen.[25] Dies vergrößert sowohl die technologische Unsicherheit des Herstellers als auch die Unsicherheit eines Verwenders über den Erfolg der Investitionsentscheidung. Gleichzeitig erhöht sich der Koordinations- und Kooperationsbedarf bei den beteiligten Akteuren.
- In **sozialer** Hinsicht führen solche Technisierungsprojekte zunächst zu einer erheblichen Erweiterung der beteiligten Akteure im Innovationsprozeß. Technische und organisatorische Gestaltungsoptionen nehmen zu, können aber zum Teil erst im betrieblichen Verwendungskontext konkretisiert werden, sie sind also ex ante nicht vollständig festzulegen. Mit der Kontextspezifität, Optionsvielfalt und erweiterten Akteurkonfiguration werden Relationierungen von Zweck und Mittel

---

25 So dauert die Implementation eines betrieblichen Produktionsplanungs- und Steuerungssystems (PPS) durchschnittlich fünf Jahre.

wahrscheinlich und Beteiligung und Akzeptanz zu einer sensiblen Variable im Innovationsprozeß.[26]

Hersteller neuer Technik sind in dieser Situation mit dem Problem konfrontiert, genaue Informationen über Verwenderanforderungen, insbesondere über die zu innovierenden (Fertigungs-)Prozesse, zu gewinnen, um die Entwicklungsaktivitäten vorausschauend planen und steuern zu können. Die Entwicklung komplexer Technik verschärft aber das Informationsproblem der betrieblichen Entscheidungsträger. Wenn Technikentwicklung eine anwenderadäquate Problemspezifikation verlangt, so impliziert umgekehrt die Entscheidung für eine komplexe Technisierungsmaßnahme vertrauensbasierte Aushandlungsprozesse und dauerhafte Kooperationsbeziehungen zwischen Verwendern und Technikherstellern.

Entstehungs- und Verwendungskontexte neuer Techniken beziehen sich hier immer enger aufeinander, die interorganisationale Dimension technischer Innovationen erhält zunehmende Bedeutung. Neben neuen zwischenbetrieblichen Kooperationsformen stehen darüber hinaus auch alte innerbetriebliche Strukturen der Technikentwicklung zur Disposition, sollen doch durch die gezielte Verzahnung von Phasen der Technikentwicklung Innovationszyklen verkürzt und Fertigungsprozesse effektiver werden. Die Verschränkung von Herstellungs- und Verwendungskontext, von wissenschaftlich und technologisch generiertem Wissen und Erfahrungswissen ist hier konstitutiv für die Technikgenese.

Rekursive Innovationen sind Prozesse der kumulativen Wissensvermehrung. Das vorgängige Wissen stellt eine Heuristik für den Innovationsprozeß dar, diese kann positiv oder negativ sein. Selbst bei einer negativen Heuristik, d.h. wenn eine Annahme oder ein Set von Annahmen zurückgewiesen wird, findet eine kognitive Anknüpfung statt. Die Rekursion setzt sich fort.

Technisierung erfolgt im Zusammenführen divergenter Wissensbestände, diese Wissensbestände können implizit oder explizit sein. (Vgl. Dosi 1988a) Explizite Wissensbestände sind Kollektivgüter, die z.B. vom Wissenschaftssystem zur Verfügung

---

26 Ähnlich läßt sich auch für den Bereich infrastruktureller Innovationstätigkeit argumentieren. Auch hier führen Kontextspezifität, Optionsvielfalt und eine erweiterte Akteurkonfiguration (z.B. in Mediationsverfahren) zu Zweck-Mittel-Relationierungen und Beteiligungsverfahren, die Akzeptanz und Legitimation zu einer sensiblen Variable im Innovationsprozeß machen. (Vgl. bspw. für den Bereich der Abfallwirtschaft Herbold, Wienken 1993)

gestellt werden. Ihr Transfer ist vergleichsweise unproblematisch, da es sich um dekontextualisiertes Wissen handelt. Die impliziten Wissensbestände sind eine spezifische Ressource von technikerzeugenden und -verwendenden Sozialsystemen, aufgrund ihres impliziten Charakters (der Ressourcenspezifität) sind sie zumeist nur unter erhöhten Transaktionskosten explizierbar.

Technikentwicklung als rekursiven Prozeß zu fassen, betont also die Entwicklungsrelevanz des Erfahrungswissens betrieblicher Praktiker (*learning by doing*) sowohl in der Fertigung und Montage als auch in der Verwendung einer neuen Maschine oder Anlage (*learning by using*). Das Auffinden einer *Eigenlösung* (Technik) ist - so meine These - weder das ausschließliche Ergebnis der formalen Um- und Durchsetzung von ingenieurwissenschaftlichen Ideen (Orientierung am *Stand der Technik bzw. Wissenschaft und Forschung*), noch allein Resultat der Beobachtung der Marktumwelt (*market pull*), sondern resultiert aus der zirkulären Schließung von technikerzeugenden und -verwendenden Sozialsystemen, unter Beachtung derjenigen *Randbedingungen*, die die technikregulierenden Sozialsysteme setzen.

Technische Artefakte lassen sich als Ergebnisse von Aushandlungsprozessen unterschiedlicher Akteurgruppen, die jeweils für bestimmte Perspektiven und unterschiedliche kognitive Muster im Innovationsprozeß stehen, interpretieren.[27] Die Ingenieur- und Konstruktionsarbeit der Techniker in den FuE- und Konstruktionsabteilungen beschreibe ich als *theoretisch-konstruktive Tätigkeit*, die der Facharbeiter in den Werkstattabteilungen als *empirisch-praktische Tätigkeit*. Zusammen bilden sie die wesentlichen Tätigkeitsformen im Innovationsprozeß. Sie stehen in einem engen wechselseitigen Bedingungsverhältnis und sind nicht gegeneinander reduzierbar.[28] Zugespitzt formuliert behaupte ich eine Äquidistanz zwischen den theoretisch-konstruktiven Wissensbestand-

---

27 Gegenüber einer früheren Fassung der Konzeption *Innovation als rekursiver Prozeß* (vgl. Asdonk, Bredeweg, Kowol 1991) wird hier auf das Konzept der *Teilrationalitäten* im Innovationsprozeß (empirisch-praktisch versus wissenschaftlich-theoretisch) verzichtet. Denn diese *Teilrationalitäten* müßten selbst wiederum dekomponiert werden, um die Differenz von Sicherheit/Unsicherheit innerhalb einer *Teilrationalität* zu erfassen. Damit im Zusammenhang steht, daß der Rationalitätsbegriff eine zu geschlossene Vorstellung der akteurspezifischen *Suchheuristiken* im Innovationsprozeß unterstellt.

28 Gleichwohl kann durch betriebliche Mikropolitik die Entfaltung einer der beiden Tätigkeits- bzw. Wissensformen behindert oder eingeschränkt werden.

teilen und empirisch-praktischen Wissensbestandteilen innerhalb von Technik.[29] Nun kann eingewendet werden, daß über technische Produktinnovationen empirisch-praktische Qualifikationsbestandteile transzendiert werden, Erfahrungswissen verloren geht und Berufe und Berufsinhalte einem sozialen Wandel unterliegen. Dies ist nicht zu bestreiten. Dennoch: Insoweit Technisierung sich auf die Transformation von Erfahrungswissen in Konstruktionswissen bezieht, kann - auch unter den gegenwärtigen Bedingungen der Informatisierung und Technisierung - das Erfahrungswissen der Beschäftigten, insbesondere der Facharbeiter, nicht allein durch Fremdbeobachtung des Arbeitshandelns erhoben werden.[30] Denn das vortheoretische, implizite Erfahrungswissen ist dem "*knowledge engineer*" nicht ohne weiteres zugänglich und läßt sich nicht ohne Risiko in explizierte Technisierungsregeln übersetzen.

> "*Bei hochkomplexer Expertenarbeit besteht also ein enormes Risiko, daß wesentliche Parameter übersehen oder in fehlerhafte Algorithmen überführt werden. Das hat fatale Diskrepanzen zwischen Modell und Realität zur Folge, die, wenn sie erst nachträglich entdeckt werden, irreparabel sind.*" (Malsch 1987: 86)

Die immanente Begrenztheit bei der Explikation von subjektgebundenen, erfahrungsbasierten Wissensbeständen, die sich in alltäglichen Arbeitsvollzügen herausbilden, ist genereller Natur: Hier konstituiert sich eine Theorie-Praxis-Differenz zwischen unterschiedlichen Berufsgruppen und unterschiedlichen lokalen Kontexten. Ingenieure und Konstrukteure mit wissenschaftlicher Ausbildung können mit den ihnen zur Verfügung stehenden theoretisch-konstruktiven Mitteln modellhafter und symbolischer Abstraktion nicht die Differenz zwischen Entwurf und (Um-)Nutzung überbrücken, während andererseits die empirisch-praktische Tätigkeit der Nutzer von Technik auf die konstruktiven und formalen Vorgaben aus der Entwicklung und der Konstruktion angewiesen sind.[31] Darüber hinaus sind technische Innovationen immer auch auf eine lokale, kontextuelle

---

29 Eine solche Sichtweise der Technisierung beendet auch die aus dieser Perspektive nicht weiterführende Debatte über das Primat wissensbasierter oder erfahrungsbasierter Innovation bzw. verweist diese Debatte an empirische Anfragen über konkrete Innovationsprojekte, die allgemein immer aus einer Kombination von Wissen (Kognition) und Erfahrung (Praxis) bestehen.

30 Vgl. dazu das Kreislaufmodell von Thomas Malsch (1987) zur "*Transformation von Erfahrungs- in Planungswissen*".

31 Vgl für den Bereich des Werkzeugmaschinenbaus Rose (1991); Martin, Rose (1990); Böhle (1992).

Rahmung verwiesen, die erst mit zunehmender Dekontextualisierung von Technik reduziert werden kann.

Technikentwicklung als eine gegenüber der Wissenschaftsentwicklung eigenständige Dimension kommt nicht ohne das Experimentierfeld *Betrieb* und einen unmittelbaren Verwendungsbezug aus. Der Vergleich zwischen Wissenschaft und Technik zeigt, daß die Erzeugung wissenschaftlichen Wissens einen Vorteil aus ihrer Entlastung von Nutzungsversprechen bzw. konkreten Verwendungen ziehen kann. Dies trifft für die Technikentwicklung nicht zu, in Technik gehen als Instrument oder Werkzeug schon bei der Konzeption Zweckvorstellungen und Nützlichkeitskalküle ein.

Die zu innovierende Technik erhält erst dann eine klare Kontur, wenn sich in einem rekursiven und iterativen Prozeß zwischen Konstruktion, Herstellung (Werkstatt) und Verwendung eine *Eigenlösung* herausbildet. Technikentwicklung läßt sich daher erst vollständig rekonstruieren, wenn der Verwendungskontext und die Genese des Verwendungszweckes eine entsprechende Berücksichtigung im Forschungsdesign erfahren. Technikgeneseforschung ist auch deshalb als Forschung über die Genese inkorporierter und potentieller Zwecke zu konzipieren.

Technikentwicklung als rekursiven Prozeß zu denken, verbietet es allerdings, von einem teleologischen Zweckbegriff auszugehen. Der Zweck einer Technik kann hier nur als eine temporalisierte Zweckvorstellung verstanden werden, die als ein "*eindeutiger Algorithmus*" (Schimank 1986) Einlaß in ein technisches Artefakt finden soll. Ähnlich wie z.B. in der Wissenschaft können Zwecke auch hier nur als *Episoden* in einem an sich infiniten Prozeß verstanden werden. Die Spezifikation der Zweckvorstellungen, die in technische Artefakte eingehen, erfolgt in einem *experimentell* angelegten Theorie-Praxis-Verhältnis. Sukzessive werden die zu technisierenden Handlungsabläufe (re-)konstruiert, indem beispielsweise fertigungstechnische Probleme aufgespürt und vor dem Horizont technischen Wissens definiert werden. Das Auffinden einer *Eigenlösung* kann zwar in einem gewissen Umfang theoretisch angeleitet sein, stellt aber auf empirisch-praktische Gegebenheiten ab und ist daher durch theoretische oder technologische Vorabdefinitionen nicht allein bestimmbar. Es handelt sich um ein

> "... *experimentell-pragmatisches Konstruieren, das vom wissenschaftlichen Experiment zu unterscheiden ist. Es ist nicht zweckunabhängig, jedoch durch die Unschärfe des Zwecks gekennzeichnet, der sich im konstruktiv-experimentellen Vollzug erst konkret und präzise herausbildet.*" (Sorge 1985: 50)

Die Konzeption rekursiver Innovation impliziert, ein technisches Artefakt zum Zeitpunkt seiner Implementation nicht als den Endzustand einer Entwicklung anzusehen, sondern als Startpunkt für einen Lern- und Optimierungsprozeß, in dem iterativ neues Erfahrungs- und Handlungswissen gewonnen wird, das selbst wiederum relevantes Wissen für die Weiterentwicklung der Technik ist. Das Zusammenwirken der unterschiedlichen Orientierungen institutionalisiert sich in innerbetrieblichen und betriebsübergreifenden Kooperationsstrukturen. Dies erfordert Kommunikations- und Koordinationsleistungen, die bisher wissenschaftlich wenig beachtet und erforscht worden sind.

Für die Technikentwicklung wird deshalb die Frage nach der Organisation relevant: Innovation erfordert sowohl zwischenbetriebliche Beziehungen, die die Rückkopplung relevanten Verwenderwissens in den Herstellungskontext sichern, als auch fortlaufende Kooperation zwischen den FuE- und den Werkstattabteilungen des Herstellerunternehmens. Für die empirische Untersuchung der Innovation von Werkzeugmaschinen werden solche Rückkopplungen als *externe Rekursion* (zwischen Verwendungs- und Herstellungskontext) bzw. als *interne Rekursion* (zwischen Konstruktion und Werkstatt) im Herstellerunternehmen differenziert. (Vgl. Abbildung 1)

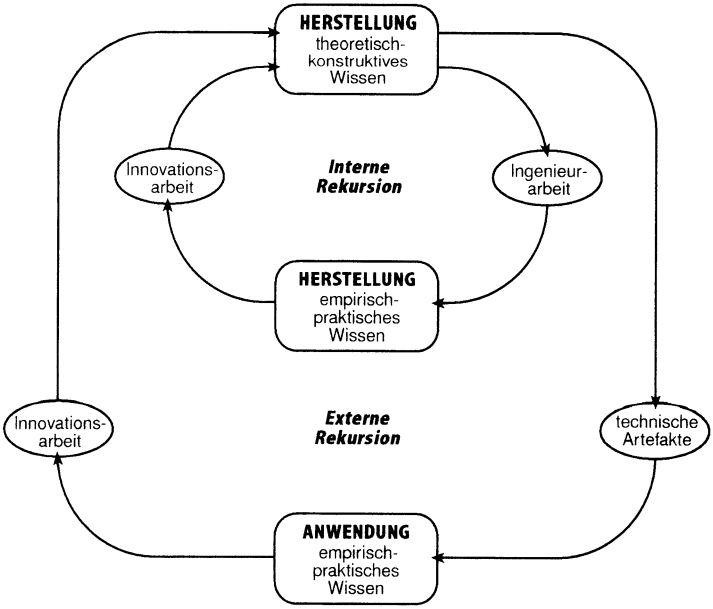

Abbildung 1: Innovation als rekurisver Prozeß

Die Anzahl und die Intensität der verschiedenen Rückkopplungsschleifen auf den unterschiedlichen Stufen der Technikentwicklung korrespondieren mit dem experimentellen Charakter der Technik. Technik ist nicht einfach nur angewandte Technologie, also Resultat der Umsetzung wissenschaftlich-technologischen Wissens in Sachgegenstände, sondern selbst auch Erkenntnismittel: Sie stellt *(Eigen-)Lösungen* für antizipierte Nutzungskontexte oder vorab definierte Probleme parat und treibt zugleich Problemdefinitionsprozesse in einem engen interaktiven Wechselspiel zwischen Verwendung und Herstellung voran.

Bei alledem spielt natürlich die Ökonomie eine gewichtige Rolle. Darüber ist bisher wenig gesagt worden. Der Grund dafür ist, daß im vorgestellten Modell diese als eine notwendige aber nicht hinreichende Bedingung der Innovationsprozesse angesehen wird. So können Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu teuer sein und deshalb unterlassen werden, Investitionsentscheidungen können als unrentabel beurteilt werden und Innovationen können am Markt scheitern usw., doch immer - so wird hier behauptet - begründen ökonomische Orientierungen allenfalls interne Selektionen in den technikbezogenen Sozialsystemen, determinieren aber nicht die Innovationsprozesse. Ökonomische Parameter stellen Informationen zur Verfügung, die aber unterschiedliche Optionen der Technisierung offenhalten, einschließlich der Entscheidung über den Abbruch eines Innovationsprojektes. Deshalb wird hier gegenüber den *älteren* Vorstellungen einer *ökonomischen Verwertungslogik* oder einer *rationalen Technikwahl* auf die ökonomische Indeterminiertheit der Technikgenese abgestellt.

Methoden der Wirtschaftlichkeitsberechnung sind im Innovationsprozeß wenig zuverlässig hinsichtlich der konkreten Ausgestaltung einer Technik. Die Rechenverfahren - so verschieden sie sein mögen - sind in der Regel an monetären Größen orientiert. Für die betriebswirtschaftliche Modellierung von Innovationsprozessen lassen sich aber drei grundsätzliche Probleme aufzeigen:

Das erste Problem läßt sich als *Reduktionsproblem* bezeichnen. Darunter verstehe ich die Reduktion von Investitionsrechnungen auf rein monetäre Größen (Kosten/Erträge) unter Ausschluß von Interdependenzen (z.B. Unfallhäufigkeiten, Auswirkungen auf die Fertigungstiefe, stärkere Zuliefererabhängigkeiten, Instandhaltungsanforderungen etc.). Das zweite Problem läßt sich als *Prognoseproblem* fassen. Darunter verstehe ich die in jede Prognose eingebaute Kontingenz eines Innovationsvorhabens, d.h. die ex ante nicht vollständig abschätzbaren Probleme der Konstruktion,

Fertigung, Montage, Inbetriebnahme und Implementation. Beiden Problemdimensionen zugrunde liegt - drittens - ein *Informationsproblem*. Da der Bezugspunkt jeder Innovation in der Zukunft liegt, können die mit einer Innovation verbundenen Konsequenzen erst vollständig erfaßt werden, wenn sie real auftreten. Die unvollkommene Informationslage über die Zukunft wird umso bedeutsamer, je komplexer das Investitionsvorhaben ist und je weitreichender die anvisierten Implementationszeiträume sind. Zwar wird auch innerhalb der Betriebswirtschaftslehre die Eindimensionalität monetärer Kosten/Nutzen-Kalkulationen hinterfragt und eine Erweiterung einzelwirtschaftlicher Analysen angestrebt (vgl. zur Übersicht Niebuhr 1987), doch die genannten Probleme lassen sich nur durch eine stärkere Prozeduralisierung der Verfahren entschärfen; diese wiederum sind dann aber auch auf den Einbezug und die Aushandlung mit anderen Organisationsabteilungen und/oder -mitgliedern angewiesen. Der *allokativen Effizienz* der Betriebswirtschaftslehre steht danach mit der *organisationalen Effizienz*, d.h. die Beurteilung einer Innovation in ihrem betriebsorganisationalen Kontext, eine Alternative gegenüber.[32] Die Zukunftsoffenheit und Kontingenz der Innovationsprozesse und ein betriebswirtschaftliches Optimierungsprinzip, das auf der ausschließlichen Zurechenbarkeit von Kosten beruht, schließen sich wechselseitig aus.

Wenn also Innovation der Organisation bedarf und die Kontingenz zukünftiger organisationaler (Entscheidungs-)Routinen nicht - und schon gar nicht allein kostenmäßig - den Innovationsprozeß prädeterminieren kann, werden die Prozeduralisierung der betriebswirtschaftlichen Verfahren und die Temporalisierung der Entscheidungsprozesse zu variablen Faktoren der Technikgenese.

3.3 Die Relevanz der Kooperation

Wie schon herausgestellt wurde, sind Hersteller neuer Technik mit dem Problem konfrontiert, genaue Informationen über Verwenderanforderungen, insbesondere über die zu innovierenden (Fertigungs-)Prozesse zu gewinnen, um die Entwicklungsaktivitäten adäquat planen und steuern zu können. Dabei spielen nicht ausschließlich technologische Faktoren eine Rolle, sondern ebenso die Arbeitseinsatzkonzepte (z.B. ein Ein-Schicht- oder Drei-Schicht-Prinzip) wie die arbeitsorganisatorische Gestaltung der

---

32 Ein tendenzieller Bedeutungsverlust der nur kaufmännisch qualifizierten Angestellten in den Beschaffungsabteilungen signalisiert diesen Trend.

Fertigungsprozesse (z.B. Gruppenarbeit oder arbeitsteilige Fließfertigung). Da vollständige Marktübersicht zumeist unerreichbar ist und die Technikentwicklung häufig eine betriebsadäquate Problemspezifikation verlangt, implizieren Entscheidungen über beabsichtigte Innovationsprojekte in der Regel dauerhafte Aushandlungsprozesse zwischen dem Technikhersteller und -verwender.

> "*Informationsasymmetrien sind eine Ursache, warum Märkte von interner Organisation/Politik als Transaktionssystem abgelöst werden.*" (Kitschelt 1985: 199)

Produktideen sind also nicht allein mittels Marktbeobachtung zu beziehen. Forschung und Entwicklung als organisationales Handeln kann nicht auf voll artikulierte Marktbedürfnisse zurückgreifen, die Orientierungsvorgaben des Marktes sind vergleichsweise gering. Die Komplexität technischer Artefakte, ihre Kapital- und Entwicklungsintensität und ihre hohe Spezifität, die große Stückzahlen nicht erwarten läßt, erfordert zumindest partiell die Überführung anonymer Marktkräfte in Kooperationspartnerschaften.

Verwender neuer Technik sind mit dem Problem konfrontiert, genaue Angaben über das fertigungstechnische Spektrum (Bearbeitungsgenauigkeiten und -geschwindigkeiten, Prozeßparameter, Optionen, usw.) eines neuen Produkts zu erlangen. Die Beobachtung des Technikmarktes liefert ihnen zwar die 'Rohdaten' hinsichtlich des Leistungsspektrums vorhandener Maschinen, doch für ihre speziellen, lokalen Anforderungen sind diese häufig zu allgemein, um von hier Entscheidungskriterien zu gewinnen.[33] Der Technikmarkt ist allenfalls geeignet, um eine Vorauswahl infragekommender Technikhersteller zu treffen. Betriebsadäquate Problemspezifikationen erfordern Aushandlungsprozesse mit den Technikherstellern über mögliche Leistungen, Genauigkeiten, Verfügbarkeiten und Optionen für den Fall der Änderung eigener Nachfragestrukturen. Für diese Aushandlungsprozesse sind unterschiedliche Verfahren und Instrumente möglich. Dies können beispielsweise detaillierte *Pflichtenhefte*, *Entwicklungspartnerschaften* oder *Pilotprojekte* sein, allemal aber umfassen sie eine partielle Kooperation zwischen Verwendern und Herstellern.

Gerade diese Kooperationsbeziehungen sind forschungsstrategisch interessant, und eine gegenwärtige Absicht der Innovationsforschung besteht darin, diese theoretisch

---

33 Dies trifft natürlich auf reine Erweiterungsinvestitionen nicht zu. Behandelt werden hier nur die aus Anwenderperspektive innovationsrelevanten Rationalisierungsinvestitionen oder Ersatzinvestitionen, die neue Optionen hinsichtlich der Technik beinhalten.

zu modellieren. Mit ihrer Fokussierung lassen sich einige Engführungen bisheriger Forschungen über Innovationsprozesse vermeiden, wie sie z.B. mit der Analyse der Durchsetzungsbedingungen einer bestimmten Technik auf dem Markt (Diffusionsforschung) oder mit sozio-ökonomischen Analysen verbunden sind, die die Frage nach den Auswirkungen der Marktmacht eines Verwenders auf das Innovationsverhalten eines Herstellers - und umgekehrt - thematisieren (so z.B. Döhl 1989). Zwar liefern diese wichtige Rahmendaten für die inner- oder zwischenorganisationale Innovationsforschung, doch um "*die (schwarze) Büchse der Pandora*" (Hack 1989: 22) zu öffnen, bedarf es neben der Analyse auf der Makroebene der Branchenstruktur auch der Analyse der Informationsaustausch- und Informationsgewinnungsprozesse zwischen den Technikherstellern und -verwendern. Den Unternehmen geht es um die Generierung, den Transfer und die Verarbeitung entwicklungsrelevanter Informationen. Da mit dem Transaktionskostenansatz von Williamson (1975; 1981; 1990) ein theoretisches Konzept vorliegt, das diesen Informationsaustausch- und Informationsgewinnungsprozessen Aufmerksamkeit widmet, soll im folgenden der Frage nachgegangen werden, inwieweit dieses Konzept in der Technikgeneseforschung Anschlußfähigkeit bietet.

3.3.1 Transaktionskostentheorie und Technikgenese

In Abgrenzung zu den klassischen Gleichgewichtsmodellen, die den Informations- und Transaktionskosten keine Aufmerksamkeit schenken und reale Ungewißheit in Gestalt schwer zu spezifizierender Informationen als unproblematisch behandeln, sieht der Transaktionskostenansatz die Maximierung ökonomischer Effizienz in der Minimierung von Austausch-, Such-, Informations- und Vertragskosten. Bei einer steigenden Zahl von Tauschbeziehungen - so die Annahme - sind institutionelle Arrangements notwendig, die die Informationsprobleme reduzieren und die Austauschbeziehungen optimieren. Die *Neue Institutionelle Ökonomie* liefert mit ihrer Unterscheidung von Markt versus Hierarchie einen wichtigen Hinweis auf zwischenbetriebliche Kooperationsformen und Arbeitsteilung, wenn auch mit einem schwach ausgeprägten Innovationsbegriff. Ökonomische Effizienz ist nach Williamson abhängig von der Reduktion von Austausch-, Such- und Vertragskosten. Bei hohen Transaktionskosten für spezifische Güter ist eine Minimierung dieser Kosten durch institutionelle Arrangements - z.B. vertikale Integration - wahrscheinlich.

Dabei erfolgt eine theoretische Umstellung vom neoklassischen Produktionskostenansatz auf den Beherrschungs- und Überwachungskostenansatz. Es wird unterstellt, daß jedes Vertragsproblem unter dem Aspekt der Transaktionskosten lohnend analysierbar ist.

> "*Die wichtigsten Dimensionen bei der Beschreibung von Transaktionen sind Häufigkeit, Unsicherheit und das Ausmaß der Faktorspezifität.*" (Williamson 1990: 328)

In Williamsons Dichotomie Markt versus Hierarchie findet sich eine wirtschaftssoziologisch erweiterte Konzeption des Marktmodells. Indem Williamson die Unterscheidung Markt und Hierarchie einführt, wird der Blick freigelegt für institutionelle Aspekte ökonomischen Handelns.[34] Information, begrenzte Rationalität der Akteure und Opportunismus sind in diesem Modell die Ausgangsvariablen für eine effiziente Transaktion. Ihre unterschiedlichen Kombinationen erlauben für Williamson eine Voraussage darüber, ob die effizienteste Form einer Transaktion der Markt (Tausch) oder die Hierarchie (Organisation) ist.

Die Betrachtungsweise von Williamson ist - entgegen der statischen Betrachtungsweise im neoklassischen Modell - dynamisch, da in der zeitlichen Dimension angenommen wird, daß Märkte Hierarchien weichen können, dieser Prozeß aber unter bestimmten Bedingungen umkehrbar ist, so daß die jeweils effizienteste Form gewählt werden kann. Theoretisch ergibt sich aus diesem Modell eine Bevorzugung von Hierarchie gegenüber dem Markt, wenn Unsicherheit, begrenzte Rationalität und opportunistisches Verhalten einen Transaktionsakt kennzeichnen. Insofern Innovationsprozesse - wenn auch in unterschiedlichem Ausmaße - prinzipiell durch Unsicherheit und begrenzte Rationalität zu kennzeichnen sind leistet die Transaktionskostentheorie einen Beitrag zu einer institutionellen Perspektive wirtschaftssoziologischer Fragestellungen. Allerdings könnte sich die dyadische Betrachtung von Markt oder Hierarchie als unzureichend herausstellen, denn unter dem Gesichtspunkt von Innovationen bilden auch die vertikal integrierten Unternehmen selten eine Lösung für das gegenseitige Informationsproblem schwer spezifizierbarer Güter. Die im Transaktionskostenansatz vorherrschende Orientierung an einer Erklärung von Effizienz erlaubt ihr zwar die Infragestellung zentraler Annahmen der Neoklassik, erschwert es ihr aber, mit ihren bisherigen Modell-

---

[34] Zum Institutionenbegriff des Transaktionskostenansatzes vgl. Deutschmann 1988.

annahmen die Innovationsdynamik zu analysieren.[35] Für sein Transaktionskostenmodell geht Williamson davon aus, daß Märkte immer schon vorhanden sind: "*In the beginning there are markets.*" (Williamson 1975: 20). Diese modelltheoretische Voraussetzung ist für die wirtschaftssoziologische Absicht, Informationsaustauschprozesse einem Kalkül zu unterziehen durchaus akzeptabel, eine Übertragung des Transaktionskostenmodells auf die Frage nach der Innovationsdynamik steht aber vor dem Problem, wie bei Innovationsprozessen Märkte überhaupt entstehen. Ob diese aber für eine technische Innovation aufgebaut werden können, dies ist - wegen der Marktintransparenz - für die Organisation ex ante unbestimmt.

Weiterhin gilt gemäß den theoretischen Prämissen des Transaktionskostenansatzes, daß sich unter den fortschreitenden Bedingungen spezialisierter Märkte, Produkte und Käufererwartungen die hierarchische Form (vertikale Integration von Unternehmen) der ökonomischen Handlungskoordination als zunehmend überlegene Form gegenüber Märkten erweisen müßte. Empirisch ist dies ein schwer zu haltendes Argument, da weltweite Aktivitäten von *outsourcing*, d.h. der Desintegration gerade vertikal integrierter Unternehmen (Abbau von Fertigungstiefe) zu beobachten sind. Die Voraussagen des Modells sind hier empirisch unzutreffend. Aber auch die gegenteilige Annahme ist empirisch schwer zu halten: Für den Nachweis einer geringen Effizienz des hierarchischen Modells bliebe innerhalb des Transaktionskostenansatzes nur die Rückkehr zum Marktmodell als ökonomische Handlungskoordination, da weitere Formen der Handlungskoordination im Modell (noch) nicht vorgesehen sind.

Festzuhalten ist also, daß in Williamsons Analyse die Erklärung von Effizienz im Vordergrund steht. Es zeigte sich, daß der Transaktionskostenansatz zur Innovationstätigkeit und zu Innovationsprozessen bislang wenig zu sagen hat. Williamson begnügt sich mit dem Hinweis darauf, daß die Beziehungen zwischen Innovation und Organisation einer genaueren Untersuchung bedürfen (1990: 164).

Mittlerweile existieren einige Arbeiten, die auf der Basis des Transaktionskostenansatzes für die Analyse von Innovationsprozessen den Begriff der Vernetzung vor-

---

35 Folgt man der Unterscheidung vom lokalen und globalen Maximieren bei Elster (1987) müßte sowohl das Effizienzargument der Neoklassik als auch das des Transaktionskostenansatzes umgearbeitet werden. Auch kurzfristig nicht-effiziente Entscheidungen können sich zu einem späteren Zeitpunkt als effizient erweisen, wie umgekehrt kurzfristig effiziente Lösungen zu *Verriegelungen* und späteren *Selbstblockierungen* führen können. Von hier ergeben sich bislang Einschränkungen für die Vorhersagemöglichkeiten der Transaktionskostentheorie.

schlagen. (Johanson, Mattsson 1987; Imai, Itami 1984)[36] Diese Arbeiten thematisieren die interorganisationale Dimension wirtschaftlicher Aktivitäten und geben damit weitere wichtige Hinweise auf die Dimension der Kooperation. Allerdings führen auch die aus der Transaktionskostentheorie entwickelten Netzwerkmodelle die genannten Schwächen der allein unter Effizienzgesichtspunkten entwickelten Theorie fort. Unter dem Gesichtspunkt der Analyse von Innovationsprozessen ist festzustellen, daß ein Netzwerkbegriff, der die von Williamson vorgeschlagene Unterscheidung zwischen Markt und Hierarchie zum Ausgangspunkt nimmt und argumentiert, Netzwerke seien eine Zwischenform zwischen Markt und Hierarchie, zu vage ist, um den strukturbildenden zwischenbetrieblichen Prozessen der Technikentwicklung auf die Spur zu kommen. Was wäre Markt und was Hierarchie in einem solchen Netzwerk, und welche Bedeutung haben Effizienz, Strategie und Kooperation? Wie ist eine Zwischenform von Markt und Hierarchie zu denken, wenn Märkte sich durch Ausschließung von Hierarchie und Organisationen sich durch Ausschließung von Markt konstituieren? Die ausschließlich dyadische Annahme einer ökonomischen Handlungskoordination durch Markt oder Hierarchie erscheint theoretisch dann nicht ausreichend, wenn die Genese von Märkten und die Innovation von Produkten zum Ausgangsproblem gemacht werden. Zumindest in einer innovationstheoretischen Perspektive greift die polare Konstruktion Markt (Vertrag) versus Hierarchie (Organisation) zu kurz.[37]

Für die Analyse der Innovationsprozesse stellt neben den Begriffen der *Unsicherheit* und der *begrenzten Rationalität* der Begriff der *Faktorspezifität* einen Gewinn dar. So läßt sich zwar generell davon ausgehen, daß Faktorspezifität im Innovationsprozeß vorliegt, doch diese unterscheidet sich hinsichtlich konkreter Faktoren beträchtlich. Patente, Lizenzen, das vorhandene Humankapital oder regional gewachsene Bezie-

---

36 Da im Schlußteil der Arbeit eine ausführliche Diskussion der Netzwerktheorie erfolgt, geht es hier nur um die Klärung der Frage, inwieweit mit der Unterscheidung von Markt und Hierarchie den strukturbildenden zwischenbetrieblichen Kooperationsprozessen auf die Spur zu kommen ist.

37 Eine wegen ihrer Differenziertheit bemerkenswerte Ausnahme stellt Teubner (1992) dar, der Netzwerke als Emergenzphänomen 'jenseits' von Vertrag und Organisation definiert. Im Gegensatz zur Transaktionskostentheorie sieht Teubner nicht nur graduelle Unterschiede zwischen Vertrag und Organisation, sondern versteht diese als jeweilige autopoietische Sozialsysteme zweiter Ordnung ("*Organisationen sind Formalisierung von Kooperationsbeziehungen - Verträge sind Formalisierung von Tauschbeziehungen*"); Netzwerke sind dann keine Zwischenform mehr, sondern werden als Steigerungsform besonderer Art begriffen (195).

hungen zwischen Erzeugern und Zulieferanten ebenso wie eine langjährige Zusammenarbeit zwischen einem Technikhersteller und -verwender konditionieren gerade konkurrierende Innovationsprojekte und können denjenigen Unternehmen einen ausschlaggebenden Vorteil verschaffen, die über hohe Faktorspezifität verfügen.

Neben der von Williamson ins Auge gefaßten (effizienten) Transaktionskostenminimierung sind es im Kontext der Innovationsprozesse besonders die technologiestrategischen Vorteile und der Know-how-Transfer (Informationsaustausch, Lernprozesse), die zur Zusammenarbeit von Herstellern und Verwendern führen. Insbesondere extrem lange Vorvertragsphasen zwischen Technikanbietern und Technikanwendern, etwa im Werkzeugmaschinenbau, lassen darauf schließen, daß Unternehmen bei Verhandlungen über Güter mit hoher Faktorspezifität zwar vertrauensbasierte Kooperationen wählen, sich aber nicht generell transaktionskostenminimierend verhalten. Technologiestrategische Überlegungen, die in einem gewissen Gegensatz zur Effizienz stehen können, spielen hier eine wichtigere Rolle als die Minimierung von Transaktionskosten.[38] Im Vordergrund der Analyse von Innovationsprozessen steht deshalb nicht die ökonomische Bewertung der Informationsaustauschprozesse, für die Williamson sich interessiert, sondern die Informationsaustauschprozesse sind hier in ihrer Bedeutung für die Reduktion technologischer Unsicherheit und Marktintransparenz relevant.

Eine konzeptionelle Alternative, die sich dem Problem der technischen Handlungskoordination in Innovationsprozessen stellt, wird im Schlußteil der Arbeit mit dem Modell der *Innovationsnetzwerke* entwickelt. Schon hier möchte ich aber die Hypothese formulieren, daß die für den Innovationsprozeß benötigten Informationsaustauschprozesse zwischen Technikherstellern und -verwendern durch Innovationsnetzwerke gewährleistet werden, welche jenseits des Marktes in nicht-hierarchischer Form die Generierung und den Transfer technischer Parameter ermöglichen. Innovationsnetzwerke stabilisieren Interaktionen auf unterschiedlichen funktionalen und hierarchischen Ebenen im Kontext (zwischen-)betrieblicher Kooperation. Diese Austauschprozesse gehen über ökonomische Kooperationsmuster hinaus und konstituieren ein Forschungsfeld eigener Art.

---

38 Wie weiter unten an einem empirischen Beispiel gezeigt wird, ergibt sich daraus auch eine Abkehr vom klassischen Vertragswerk, da dieses im genannten Fall prozeduralisiert wird und eine rekursive Form annimmt. Vgl. dazu auch die Konzeption der "*relationalen Verträge*" bei Macneil 1985.

Innovationsnetzwerke werden durch rekursive Prozesse hervorgerufen und stabilisiert. Es geht um den Nachweis, daß Innovationen nicht nur spontane Rückkopplungen zwischen Herstellungs- und Verwendungskontext, zwischen empirisch-praktischen und theoretisch-konstruktiven Erfahrungs- und Wissensbeständen erfordern, sondern darüber hinaus formelle oder informelle Strukturen emergieren, die die Wissenstransfer- und Austauschprozesse erleichtern. Innovation ist also kein singulärer Akt, - schon gar nicht unter den Bedingungen moderner Produktionstechnik -, sondern ein Aushandlungsprozeß innerhalb (in-)formeller Netzwerkstrukturen, der innovationsrelevante Informationen und Parameter generiert. Die Perspektivenverschränkung von Herstellung und Verwendung, von Anbietern und Verwendern führt zu Kooperationsformen, die durch einen "*gemeinsamen technischen Jargon und gemeinsame Verhandlungsprozeduren*" (Grabher 1988: 21) abgestützt werden. Dieser *Jargon* wirkt koordinationserleichternd und birgt selbst wiederum strukturbildende und -stabilisierende Wirkungen in sich. Der *Jargon* basiert nicht nur auf dem Medium der gesprochenen Sprache, sondern zeigt sich angewiesen auf deiktisches - demonstrierendes, beispielgebendes - Verhalten, die Kommunikation ist also auch auf personal anwesende Interaktionspartner angewiesen.

4. Kontinuität und Diskontinuität in technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsystemen

Abschließend möchte ich nochmals die Frage nach Kontinuität und Diskontinuität des technischen Wandels aufgreifen. Wie zu Beginn des Kapitels herausgestellt, kann eine theoretische Konzeption des technischen Wandels, die an zentraler Stelle die sozialen Kontexte der Erzeugung und Verwendung neuer Technik berücksichtigt, die Frage nach der Kontinuität oder Diskontinuität des technischen Wandels nicht allein technik- oder technologieimmanent, d.h. nicht mit dem Hinweis auf neue Prozesse, Werkstoffe und veränderte technische Prinzipien beantworten. Die Dynamik technischer Entwicklungen kann nur vordergründig mit dem Bemühen erklärt werden, die mechanischen, statischen, thermischen, mikroelektronischen usw. Grenzen von Maschinenteilen und Maschinenfunktionen zu verschieben.[39] Will man nicht bei einer eher *technikimmanenten*

---

[39] Aus soziologischer Perspektive kann eine Schwachstelle oder Dysfunktion einer Technik als Resultat einer kommunikativen Attribution bezeichnet werden - sie ist insofern *sozial*, als sie

Sicht stehenbleiben, so ist nach den Anstößen zu fragen, die aus den sozialen Kontexten der Herstellung, Verwendung und Regulierung resultieren und neue Entwicklungsprozesse in Gang setzen, z.B. nach der Veränderung von *Randbedingungen* (neue ergonomische Erkenntnisse, Sicherheitsanforderungen, Arbeitseinsatzkonzepte, Qualifikationsstrukturen und - zunehmend - auch Auflagen für den Umweltschutz und Anforderungen an die Wiederverwendbarkeit der eingesetzten Rohstoffe). Solche Anstöße nehmen in Austausch- und wechselseitigen Lernprozessen zwischen Herstellern, Verwendern und Kontextbildnern, zwischen Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen und Werkstattbereichen die Gestalt neuer Ideen und neuer Technik an. Der Prozeß der Technisierung wird hier also als ein kontinuierlicher Prozeß angesehen. Das schließt aber nicht aus, ex post zwischen einem vorherrschend mechanischen und elektro- oder informationstechnisch gestützten industriellen Produktionsprozeß eine Diskontinuität zu beobachten.

Dementsprechend fokussiert der sozialwissenschaftliche Blick auf den technischen Wandel die Veränderungen in den technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsystemen. Beobachtungsgegenstände können die Diffusion neuer Technik, die Veränderungen der "*organizational routines*" (Nelson, Winter 1982), "*communities of producers and users*" (Anderson 1991) und "*societal sectors*" (Scott, Meyer 1991) sein, die Rationalisierungs- und Qualifikationskonzepte, die Veränderung der Ingenieurausbildung und deren Leitbilder, die Neuordnung der beruflichen Ausbildung, veränderte industrielle Beziehungen und nicht zuletzt die Veränderungen der Innovationsprozesse selbst. Der entscheidende Punkt ist, die Innovationsdynamik mit der Dynamik der technikbezogenen Sozialsysteme analytisch auf der gleichen Ebene zu verorten. Und dies gelingt erst dann, wenn die Beobachtung des technischen Wandels umgestellt wird von einer technologieinhärenten Betrachtungsweise auf die Beobachtung von technikgenese-relevanten betrieblichen, zwischenbetrieblichen und gesellschaftlichen Kontexten. Ein Beispiel soll dies abschließend demonstrieren:

Ein Vergleich der digitalen mit der alterwürdigen mechanischen Uhr könnte zunächst dazu verleiten, hier von einer radikalen Innovation zu sprechen. Immerhin führte der Markterfolg der digitalen Uhr zum Zusammenbrechen einer ganzen Branche, zum allmählichen Verschwinden eines traditionellen Handwerkerberufes, zu einer

---

einen *Attraktor* bildet, an dem sich kommunikatives und soziales Handeln kristallisieren kann.

enormen Verbilligung der Fertigungsprozesse und zu einer drastischen Verbilligung der Endprodukte. Doch vom sachtechnischen Standpunkt war diese Innovation relativ trivial, alle Voraussetzungen für das elektronische Messen lagen vor und mußten nur zu einem neuen Produkt rekombiniert werden. Der kritische Punkt für die Einführung digitaler Uhren war vielmehr in der Unternehmensumwelt der Uhrenindustrie, d.h. in der Akzeptanz der Verbraucher zu sehen. Aber erst aus der ex post-Perspektive konnte hier - nach erfolgreicher Einführung - die Evidenz begründet werden, die zum Zusammenbruch der mechanischen Uhrenindustrie, zu neuen Berufsbildern ebenso wie zu erheblichen Funktionserweiterungen und drastischen Verbilligung der digitalen Uhren geführt hat. Allein aus dem Vorliegen der technologischen Möglichkeiten zur Produktion digitaler Uhren konnte ex ante nicht auf eine radikale Innovation geschlossen werden. (Amendolo, Bruno 1990: S. 424)

Kontinuität und Diskontinuität, so fasse ich die Argumentation zusammen, erweisen sich als interdependente Formen des technischen Wandels. Während die ex ante-Perspektive die Aufmerksamkeit auf die kleinschrittigen, kontingenten und kumulativen Veränderungen (der Innovations*prozesse*) richtet, kann die rekonstruktive Perspektive die Bedeutung des "Neuen" (die *Struktur*) als Diskontinuität interpretieren.[40] Rekursive Prozesse können also durchaus zu einer Verfestigung von Optionen beitragen und schließlich in der sozialen Schließung von Optionen enden:

> "*(Rekursion, U.K.) means that after a period of time the action get more end more coherent, free options which characterize the recursive interaction at the beginning become more and more fixed and a framework arises for the behaviour of the individuals in a group (Maturana 1985). This framework we call cognitiv-emotional matrix because it integrates beliefs, attitudes, and intention of a research group and provides rules of cooperative behaviour.*" (Krohn, Küppers 1989c: 6)

---

40 Unschwer erkennbar stehen diese Annahmen im Zusammenhang mit der modernen Selbstorganisationstheorie. Die Koppelung von Prozessen kann über die selektive Wirkung ihrer zyklischen Schließung strukturbildend sein. Solche Strukturen können sich ebenfalls verändern. Die *Struktur*veränderungen sind aber immer diskret, auch wenn die strukturbildenden *Prozesse* kontinuierlich sind. Anders gesagt: In nicht-linearen, dynamischen Systemen können aufgrund der sensitiven Abhängigkeiten von den Anfangsbedingungen nicht-vorhersehbare Systemzustände eintreten, die, obwohl rekursiv und streng deterministisch, zufällig sind. (Vgl. Krohn, Küppers 1989: 69ff.)

III. Das Untersuchungsdesign: Untersuchungsfeld, Hypothesen, Forschungsfragen und Methoden

1. Einleitung

Die Rekonstruktion und Modellierung der Technikgenese auf der Basis empirischer Untersuchungen erfordern es, sowohl die Besonderheiten der untersuchten Branche - hier des Werkzeugmaschinenbaus (WZMB) - mitzureflektieren als auch die Auswahl der Untersuchungsfälle genau zu begründen. Die Qualität erzielbarer Ergebnisse, ebenso wie die Möglichkeiten und Grenzen der Verallgemeinerungsfähigkeit von Untersuchungsergebnissen stehen in einem unmittelbaren Zusammenhang zu diesen Ansprüchen. Die "*Crux mit den kleinen Zahlen*" (Kudera 1992) der qualitativen Sozialforschung besteht bekanntlich in dem Problem der Generalisierung fallbezogener Daten. Intensivfallstudien innerhalb der Industriesoziologie beziehen sich in der Regel auf ausgewählte und zum Teil nur sehr kleine Teilbereiche der industriellen Produktion; zumeist stellen die Ergebnisse punktuelle Momentaufnahmen dar. Und wenn, wie im Fall der stark beachteten Studie von Kern, Schumann (1984) über das "*Ende der Arbeitsteilung*", Prognosen industrieller Entwicklungen gewagt werden, stehen methodologische Einwände und Kritik an vielen Einzelaussagen sofort auf dem Plan. (Vgl. Malsch, Seltz 1987)

Empirische Fallbeispiele eignen sich aufgrund der Generalisierungsprobleme qualitativer Sozialforschung vor allem dazu, die Plausibilität und Relevanz von theoretischen Modellbildungen zu zeigen, bestenfalls zu überprüfen. Damit kommt der Auswahl und Begründung der Untersuchungsfälle erhebliches Gewicht zu. Nur wenn es gelingt, den Befunden in ausgewählten Einzelfällen eine über den jeweiligen Fall hinausgehende Bedeutung zuzuweisen, kann überhaupt der Anspruch erhoben werden, mehr sagen zu können, als eben über den einen Fall. Um einen solchen Anspruch zu begründen, muß die "*Empirie von unten*" (bspw. die Fallstudie) ergänzt werden durch eine "*Empirie von oben*" (bspw. durch eine Branchenanalyse). (Vgl. Baethge, Overbeck 1986)

Aus den genannten Gründen werde ich zunächst die Bedeutung des Untersuchungsfeldes - die Werkzeugmaschinenbauindustrie - für die Innovationsforschung herausstellen und den sozialwissenschaftlichen Forschungsbedarf markieren. (Abschnitt

2) Hier möchte ich begründen, daß gerade die Werkzeugmaschinenbauindustrie ein besonders interessantes - und wenig erforschtes - Untersuchungsfeld für die Innovationsforschung darstellt. Die nachfolgende - auf ausgewählten Strukturdaten basierende - Branchenanalyse (Abschnitt 3) dient der Vorbereitung des Designs der empirischen Analyse. Das Ziel ist hier, durch eine inhaltliche Abstraktion (Typenbildung) die "*qualitative Repräsentanz*" (Lamnek 1983) der *Innovationsfallstudien* herzustellen, anders gesagt: Es geht um die Kontrollmöglichkeit von den qualitativen Erhebungen auf eine Grundgesamtheit rückzuschließen.

Abschnitt 4 präsentiert dann die zentralen Hypothesen und Forschungsfragen der empirischen Analyse. Als vorrangiges Interesse wird hier die Beobachtung der rekursiven Verknüpfungsleistungen zwischen dem Herstellungs- und Verwendungskontext von Technik vorgestellt, und die Frage verfolgt, wie heterogene Akteure in den technikerzeugenden und -verwendenden Sozialsystemen eine *Eigenlösung* erzeugen. Dementsprechend fokussieren die Hypothesen die inner- und zwischenbetrieblichen Aushandlungsprozesse in der Technikentwicklung, die Bedeutung empirisch-praktischer und konstruktiv-abstrakter Tätigkeiten und die Bedeutung der Innovationsnetzwerke für die Technisierung. Hier werden die weiter oben herausgearbeiteten Kategorien der internen und externen Rekursion, der Innovationsarbeit und der Innovationsnetzwerke für die empirische Analyse operationalisiert.

Abschnitt 5 präsentiert das Design und die verwendeten Erhebungstechniken der Innovationsfallstudien. Hier werden die Auswahl der Unternehmen begründet und methodische Aspekte des Vorgehens diskutiert. Dabei greife ich zurück auf die vom Verfasser mitentwickelten und -durchgeführten Forschungsarbeiten eines empirischen Projekts, das am Institut für Wissenschafts- und Technikforschung (IWT) der Universität Bielefeld beantragt, zwischen 1991 und 1994 durchgeführt und 1995 abgeschlossen wurde.[1] Bei der methodischen Diskussion geht es im wesentlichen darum, den zu engen Horizont der (klassischen) Betriebsfallstudie zu erweitern und das Instrument der Innovationsfallstudie zu entwickeln. Die Annahme rekursiver Technikentwicklung verlangt vom Beobachter, sowohl die Herstellungs- als auch die Verwendungsperspektive technischer Lösungen gleichermaßen einzunehmen. Darüber hinaus müssen diese reflexiv aufeinander bezogen werden.

---

[1] Vgl. Asdonk, Herbold, Kowol 1995; 1996.

Der letzte Abschnitt beinhaltet eine Kurzcharakterisierung der untersuchten Betriebe entlang einiger relevanter Items (Produkte, Seriengröße, Beschäftigte, Fertigungstiefe und Kundenbranchen) und präsentiert eine Kurzübersicht über die Innovationsfallstudien. Die in dieser Arbeit vorgenommenen Auswertungsschritte sind Re-Interpretationen mit zum Teil veränderter oder neuer Fragestellung, zum Teil mit neuen Queranalysen.

2. Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung im Werkzeugmaschinenbau

Der Beginn der Industrialisierung ist untrennbar mit der Entstehung des Werkzeugmaschinenbaus verquickt. Nach neueren Erkenntnissen haben nicht die Dampfmaschinen, sondern die Werkzeugmaschinen den hauptsächlichen Anteil an der Entstehung der Industriegesellschaft. (Vgl. Mommertz 1981; Paulinyi 1989) Beispielsweise wurde der Bau der Wattschen Dampfmaschine erst möglich, nachdem es gelang, die fertigungstechnischen Probleme beim Bau eines präzisen Zylinders zu lösen.

> *"Die Fertigung von runden und für damalige Verhältnisse ungewöhnlich präzisen Bauteilen aus Metall bildete ... das Hauptproblem der Maschinenbauer. Die großen Metallteile der Dampfmaschine konnten nur mit besonderen maschinellen Vorrichtungen bearbeitet werden, und deshalb mußten sich gleichzeitig mit der Entwicklung der Dampfmaschine auch die Werkzeugmaschinen weiter entwickeln."* (Mommertz 1981: 62)

Die geforderte Präzision konnte nur mit einem speziell für diesen Verwendungszweck konstruierten Zylinderbohrwerk erreicht werden. Erst mit dieser Innovation konnte die schon 1769 patentierte Dampfmaschine im Jahr 1775 praktisch hergestellt werden. (Vgl. Mommertz 1981: 22f.)

Das historische Beispiel zeigt, wie die Lösung fertigungstechnischer Probleme im unmittelbaren Zusammenhang mit der weiteren Technisierung steht. Werkzeugmaschinen - dies wurde schon von Rosenberg (1975) herausgestellt (vgl. Kap. I., Abschnitt 3.1) - besitzen eine Transmitterfunktion für unterschiedliche technische Verfahren, darüber hinaus tragen sie mit ihren unterschiedlichen Verwendungszwecken zur *vertikalen Desintegration* der Industrie bei. Diese strategisch zentrale Rolle der WZMB-Industrie für die gesamte Industrie stellte auch Marx (1974) heraus:

> *"Die große Industrie mußte sich also ihres charakteristischen Produktionsmittels, der Maschine*

> *selbst, bemächtigen und Maschinen durch Maschinen produzieren. So erst schuf sie ihre adäquate technische Unterlage und stellte sich auf ihre eigenen Füße.*" (Marx, K., MEW Bd. 23, 405)

Neben dem Aufbau einer wirtschaftlichen Energieerzeugung wurde die permanente Verbesserung der Produktionstechnik zu einer wichtigen Voraussetzung der Massenproduktion; erst die Austauschbarkeit von Teilen und die Steigerung der Fertigungsgenauigkeit bildeten den technischen Hintergrund für den Übergang von der handwerklichen zur industriellen Produktionsweise. Mit der Weiterentwicklung der Maschinen wurden immer mehr Bauteile produziert, die immer höhere Anforderungen an die Maß- und Paßgenauigkeit stellten.

Die Entwicklung der industriellen Massenproduktion war einerseits auf die Fortschritte innerhalb der Werkzeugmaschinenindustrie angewiesen, andererseits wiederum beflügelte diese Nachfrage deren Wachstum. In Deutschland können hier insbesondere der Automobilbau, die Fahrrad- und die Nähmaschinenindustrie genannt werden. (Mommertz 1981: 128ff.) Massenproduktion und die hierfür benötigten Spezialmaschinen stehen dementsprechend in einem engen Zusammenhang; betriebswirtschaftlich ist dieser Zusammenhang verschiedentlich auf die These einer Gegenläufigkeit von Elastizität und Automation gebracht worden. Denn permanente Produktinnovation für ständig variierende Verwenderbedürfnisse zu betreiben,

> "*zwingt dem Werkzeugmaschinenbau als Herstellungsprämisse eine Dynamik auf ... die der Anwendung jener in der Massenfertigung bewährten Rationalisierungspraktiken der Arbeitsteilung, Standardisierung und Technisierung frontal entgegenstand.*" (Kern, Schumann 1984: 137)

Eine andere Form der Interdependenz besteht zwischen der Entwicklung der Rohstoffverarbeitung und den Fortschritten der Metallbearbeitung. Fortschritte der Stahlveredelung ermöglichen Verbesserungen in den Werkzeug- und Werkstückeigenschaften, diese wiederum bilden eine Voraussetzung für höhere Schnittgeschwindigkeiten und präzisere Bearbeitungsergebnisse. Davon ausgehend, stellen sich neue Anforderungen an die Konstruktion von Werkzeugmaschinen. Ebenso wirken sich Fortschritte in der Elektrotechnik, Hydraulik, Pneumatik und in der Computertechnik auf die Produktionstechnik aus.

Es ist nun genau diese Positionierung der Werkzeugmaschinenbauindustrie zwischen den rohstoffgewinnenden Industrien und den auf Endzwecke ausgerichteten

Industriezweigen (insbesondere der allgemeine Maschinen- und Anlagenbau, die Automobilindustrie und Flugzeugindustrie), die diese Branche für eine Untersuchung zur Technikgenese so spannend macht. Der '*intermediäre*' Charakter dieser Branche ist innovationstheoretisch zusätzlich noch deshalb besonders interessant, da die Produktinnovationen dieser Branche wiederum Prozeßinnovationen in den Verwenderindustrien auslösen. Die Bedeutung dieses Zusammenhangs für den technischen Wandel kann kaum unterschätzt werden:

> "*Is it possible to have world-class manufacturing without world-class machine tools? No! Is it possible to have world-class tools if one has to depend upon imports? No! Countries with superior machine tool industries exhibit superior industrial growth.*" (Thurow 1992, zit. nach: Cooke 1996: 62)

Hinsichtlich der Innovationsdynamik eines Industriesystems kommt also der Entwicklung der Produktionstechnik eine zentrale Rolle zu. Dennoch ist der sozialwissenschaftliche Forschungsstand in mehrerer Hinsicht unbefriedigend.

(1) Industriesoziologische Untersuchungen thematisieren die Bedingungen und Folgen der Einführung neuer Techniken im Betrieb und untersuchen den Wandel von Arbeitsformen, betrieblichen Hierarchien, Qualifikationen und Arbeitspolitiken. Sie haben sich vornehmlich mit den Prozeßinnovationen beschäftigt, die Technikimplementation wurde aus der Perspektive der Rationalisierung von Arbeit untersucht, aber die Frage der Technikerzeugung selbst wurde selten zum Gegenstand empirischer Untersuchungen. So aber bleibt u.a. unberücksichtigt, welchen Anteil die Arbeiter selbst an der Hervorbringung der Technik haben, von deren Folgen sie aus Sicht der Industriesoziologie bedroht sind. Mit der Technikgeneseforschung im Werkzeugmaschinenbau kann ein Beitrag zu der Frage erwartet werden, welche rückgekoppelte Dynamik zwischen der Technikerzeugung und -verwendung besteht und welche Akteure hier relevant sind. Ein zentrales Ziel der hier vorgelegten Untersuchung ist es, den Anteil der Facharbeiter an der Technikentwicklung, ihre vielfältigen Kooperationen mit den Ingenieuren, Technikern und Konstrukteuren zu markieren und so - aus der Perspektive der Technikgeneseforschung - ein Defizit der industriesoziologischen Forschung zu thematisieren: Die Arbeitenden sind nicht nur Opfer einer blinden Mechanik ökonomischer Rationalität und/oder einer Herrschaftsdynamik industrieller Organisationen, sondern sie sind auch - in unterschiedlicher Weise - aktive Akteure im Prozeß der Generierung neuer Techniken.

(2) Wenig erforscht sind insbesondere die Rückkopplungen zwischen der Technikentwicklung und -verwendung im Maschinenbau. Zu den wenigen Ausnahmen techniksoziologischer oder innovationsökonomischer Untersuchungen zum Maschinenbau gehören Zörgiebel (1983); Rammert (1988b) und - mit Einschränkungen - Kalkowski u.a. (1995). Zörgiebel (1983) setzt sich im Rahmen einer kleineren Untersuchung mit Technologie-Entscheidungen in Unternehmen und deren Wettbewerbspositionen und -strategien auseinander, stellt aber - ähnlich wie Rammert (1988b), der die Erzeugung von Produktinnovationen zum Gegenstand einer empirischen Analyse macht -, nur auf die intra-organisationale Dimension des Innovationsprozesses ab. Kalkowski u.a. (1995) gründen ihre Befunde nicht auf technikgenetische Untersuchungen, sondern auf eine industriesoziologische Untersuchung zur "Arbeitsorganisation in der Entwicklung und Konstruktion zur Bewältigung von CIM-Einführung und Produktinnovation." Allen Studien gemeinsam ist Konzentration auf mittlere bzw. größere Unternehmen, womit hinsichtlich der Betriebsgrößenstruktur des Werkzeugmaschinenbaus (vgl. dazu die Branchenanalyse) ein großer Teil von Betrieben unerfaßt bleibt. Das leitet über zu einem allgemeinen Problem der sozialwissenschaftlichen Technikforschung: Die Unterrepräsentiertheit von Klein- und Mittelbetrieben in der sozialwissenschaftlichen Innovationsforschung (KMU).[2] Da aber mit Blick auf die *Krise der Massenproduktion* von den Klein- und Mittelbetrieben längst nicht mehr als von einem transitorischen Phänomen gesprochen werden kann, vielmehr von einem *komplementären Strukturmerkmal* industrialisierter Gesellschaften ausgegangen werden muß (Piore, Sabel 1988: 36f.)[3], soll im folgenden Exkurs die Bedeutung der Klein- und Mittelbetriebe herausgestellt werden.

---

2 Zu den wenigen Ausnahmen gehören Domeyer, Funder 1991; Kotthoff, Reindl 1990 und Manz 1990.

3 Noch in den späten achtziger Jahren galten die Großbetriebe als Inbegriff wirtschaftlicher Effizienz, die durch Skaleneffekte bessere Produktionsergebnisse als Klein- und Mittelbetriebe erwirtschaften können. Innerhalb der wirtschaftlichen Entwicklung wurde den Klein- und Mittelbetrieben allenfalls eine residuale Rolle zugestanden. (vgl. Sengenberger, Loveman 1988: 1)

2.1 Exkurs: Die Relevanz der Klein- und Mittelbetriebe für die Innovationsforschung

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Klein- und Mittelbetriebe ist zunächst daran abzulesen, daß hier 66% aller Arbeitnehmer beschäftigt sind, 46% des Sozialprodukts erarbeitet werden und immerhin 41% aller Investitionen getätigt werden. (Manz 1990: 11) Weiterhin haben 98% aller Unternehmen in der (alten) Bundesrepublik weniger als 100 Beschäftigte (Domeyer, Funder 1991: 10) und die Beiträge von Klein- und Mittelbetrieben zum Beschäftigungswachstum sind allgemein unbestritten:

> "*Festzustellen ist, daß vorliegende empirische Untersuchungen übereinstimmend zu dem Ergebnis kommen, daß in der Bundesrepublik seit den 70er Jahren Großunternehmen Arbeitsplätze abgebaut haben, während kleine Unternehmen einen Beitrag zum Beschäftigungswachstum leisteten.*" (Domeyer, Funder 1991: 12)[4]

Für die Kleinbetriebe lassen sich eine Reihe von Spezifika geltend machen, die sie von Großunternehmen mehr als nur graduell unterscheiden. So gelten zunächst Marktreagibilität und Flexibilität, weiterhin der geringere Formalisierungsgrad, die Dominanz persönlicher Führung, die '*kurzen Kontaktwege*' und die Abwesenheit tayloristischer Arbeitseinsatzkonzepte als wichtige Strukturmerkmale der Kleinbetriebe, so daß dieser Organisationstypus deutlich abweicht von der großbetrieblichlichen Organisationsform. (Domeyer, Funder 1991: 68ff.)

Der geringe Grad an funktionaler Differenzierung innerhalb der Kleinbetriebe erfordert den '*qualifizierten Generalisten*' sowie einen vergleichsweise hohen Grad "*normativer Selbstverpflichtung*" (Offe 1970: 28) bezüglich der Ableistung von Überstunden, Engagement und Teamfähigkeit.

Diese Sichtweise wird empirisch wie theoretisch dadurch gestützt, daß in den vergangenen Jahren zahlreiche Zweifel an der generellen Überlegenheit von Großunternehmen Gewicht erhielten. So finden sich in der Transaktionskostenökonomie zahlreiche Hinweise auf steigende Koordinations-, Informations-, und Suchkosten von Groß-

---

4 Vgl. auch die Untersuchung von Cramer (1987), der zeigt, daß im Untersuchungszeitraum zwischen 1977 und 1985 die Zahl der Beschäftigten in den Kleinbetrieben um 13% (580.000 Personen) wuchs und die Zahl der Beschäftigten in den Großbetrieben um 4,2% (225.000 Personen) abnahm. Erwähnt werden muß allerdings, daß die Arbeitsplatzsicherheit und die Einkommen in den kleineren und mittleren Betrieben niedriger als in den Großbetrieben sind.

unternehmen, in industriesoziologischen Untersuchungen werden Kontroll- und Motivationsverluste konstatiert und organisationssoziologische Analysen weisen auf zunehmende Folgekosten aufgrund von Bürokratisierungstendenzen hin. Dies relativiert insgesamt die These größerer Effizienz der großbetrieblichen Organisation. Studien der Industrieökonomik prognostizieren, daß es - ausgehend von dem Befund eines langfristigen Rückgangs der durchschnittlichen Unternehmensgröße - immer mehr Kleinunternehmen geben wird und diese durchaus neben den Großunternehmen überleben können. Zurückgewiesen wird die Annahme, daß mit wachsender Unternehmensgröße bessere Skaleneffekte zu erzielen und somit bessere Marktchancen wahrzunehmen sind. (Audretsch 1992: 2ff.)

Als Belege resümiert Audretsch (ebd.) einige Ergebnisse, die begründen, warum die Kleinunternehmen partielle Innovationsvorteile gegenüber den Großunternehmen haben. Zunächst sind die Entscheidungsprozeduren in Großunternehmen erheblich bürokratischer als in Kleinunternehmen, wo nur wenige Personen die Entscheidungen treffen. (Vgl. z.B. Rothwell 1989)[5] Zweitens profitieren Kleinunternehmen von den Abwanderungen von Forschern aus Großunternehmen und drittens engagieren sich zwar Großbetriebe häufiger in der universitären oder außerbetrieblichen Forschung, doch Kleinunternehmen profitieren weit häufiger von den Ergebnissen.

In Kleinbetrieben findet sich nach den Untersuchungen von Domeyer, Funder häufig ein betriebsorganisatorisches Muster, das mit Fox (1974) als "*high-trust-relations*" gekennzeichnet werden kann, d.h. die Arbeitssituation der Mitarbeiter ist durch intrinsische Motivation, '*Freiwilligkeit*' der Arbeitsleistung, geringe direkte Kontrolle und wenig detaillierte Regelungen der Arbeitsinhalte gekennzeichnet. (Domeyer, Funder 1991: 86)

Hinsichtlich der Innovativität der Kleinbetriebe variieren Domeyer, Funder (1991) eine prominente These, wonach der Neuigkeitsgrad einer Innovation ökonomisch besonders erfolgversprechend sein soll, dahingehend, daß gerade diejenigen Betriebe am erfolgreichsten sind, die vorhandene Produkte auf der Grundlage von Weiterentwicklungen modifizieren. (103) Die Kundenstruktur neugegründeter Betriebe zeigt nach einer Untersuchung des Instituts für Mittelstandsforschung, daß erfolgreichere technologieorientierte Unternehmensgründungen weniger Kunden und eine geringe

---

5 Ähnlich Scherer (1991), der argumentiert, daß die bürokratischen Strukturen in Großunternehmen eher riskante FuE-Aktivitäten verhindern.

Preissensibilität der Nachfrage haben als weniger erfolgreiche Unternehmen. (Hunsdiek 1987: 221)

Die Kunden der Kleinbetriebe sind der Studie von Domeyer, Funder nach in den meisten Fällen wiederum Betriebe oder Unternehmen; produziert wird nicht für einen anonymen Markt, sondern in der Regel im Kundenauftrag. (125f.) Für die meisten Kleinbetriebe stellt sich die im gegenseitigen Vorteil begründete Kooperation mit anderen Betrieben als erfolgreiche Strategie dar, um wirtschaftlicher Unsicherheit zu begegnen, sowohl im Rahmen von Innovationen als auch im Rahmen der Eröffnung von Märkten und der Erlangung von Kostenvorteilen. (Vgl. auch: Sengenberger 1988; Sengenberger, Loveman 1988; Hunsdiek 1987; Boehme 1986)[6]

Die sozialwissenschaftliche Technikforschung hat diese Untersuchungen und Daten bislang nicht zu neuen Forschungsinteressen verdichten können; selbst in dem klassischen Untersuchungsfeld, dem Maschinenbau, ist die

> "*Verteilung der untersuchten Betriebe nach Größenklassen ... absolut nicht repräsentativ für die Größenklassengliederung der Branche.*" (Manz 1990: 12; vgl. dort Tabelle 5, S. 15)

Eine Synopse der sozialwissenschaftlichen Untersuchungen im Maschinenbau zeigt, daß sich von einhundertdrei untersuchten Betrieben nur insgesamt vierzehn Betriebe in der Gruppe der Betriebe bis zu fünfhundert Beschäftigten finden. Keine der dort genannten Untersuchungen beschäftigt sich mit Produktinnovationen. Entgegen der vorherrschenden Meinung, der Maschinenbau sei "*lückenlos*" dokumentiert (vgl. Lappe 1986, S. 325), ist darauf zu verweisen, daß weder bezogen auf die Größenklassen innerhalb dieser Branche noch auf deren volkswirtschaftliche Bedeutung als Investitionsgüter produzierende Industrie ein hinreichendes Bild der Problemlagen (hier: der Innovationsbedingungen) dieser Branche vorliegt.[7] Eher läßt sich von einem "*blinden Fleck*" der sozialwissenschaftlichen Technikforschung sprechen, da der eben genannten Bedeu-

---

6 Die genannten Argumente zur Bedeutung der kleineren und mittleren Betriebe werden von Piore, Sabel (1989) und Herrigel (1993) zum "*Industrial-district*"-Ansatz theoretisch ausgearbeitet. Zur Übersicht: Pyke, Sengenberger (1992).

7 Obwohl auch im jüngsten "Trendbericht Rationalisierung" (Schumann u.a. 1994) davon ausgegangen wird, daß der Werkzeugmaschinenbau "*einer der am weitesten und gründlichsten recherchierten ... Wirtschaftszweige*" (396) ist.

tung der Produktinnovationen innerhalb der Klein- und Mittelbetriebe für die weitere Industrie keine reale Aufmerksamkeit geschenkt worden ist.[8]

Mit der hier vorgelegten Untersuchung soll den genannten Defiziten begegnet und der Produktinnovation in den organisationalen und netzwerkartigen Schnittfeldern zwischen technikerzeugenden und technikverwendenden Sozialsystemen explizite Aufmerksamkeit gewidmet werden. Dabei werden Serien- und Sondermaschinen auf der einen Seite sowie Groß-, Klein- und Mittelbetriebe auf der anderen Seite in die Untersuchung einbezogen. Ebenso sollen die betrieblichen Akteure, die an der Technikentwicklung teilnehmen und diese aktiv betreiben, im Sample Berücksichtigung finden.

3. Strukturdaten für den deutschen Werkzeugmaschinenbau

Der Werkzeugmaschinenbau ist eine von den 34 Fachgemeinschaften innerhalb des allgemeinen deutschen Maschinenbaus. Mit der Herstellung von annähernd 20.000 verschiedenen Produkten besitzt die Maschinenbauindustrie in der Bundesrepublik Deutschland eine Schlüsselstellung für die industrielle Fertigung. Darüber hinaus hat die Branche eine hohe volkswirtschaftliche Relevanz. Mit einem Umsatz von mehr als 200 Milliarden DM und einer Beschäftigtenzahl von über einer Million ist der Maschinenbau einer der größten Industriezweige Deutschlands. (Vgl. Tabelle 1)

Im Maschinenbau sind vornehmlich mittlere und kleinere Unternehmen zu finden, die schwerpunktmäßig Unikate und Kleinserien fertigen. Die Angebote umfassen dabei klassische Standardmaschinen und -anlagen ebenso wie Spezialmaschinen und -anlagen für neueste Anwendungsbereiche. Die zunehmende Verbindung des traditionellen Anlagen- und Maschinenbaus mit der Elektronik und der Informations- und Kommunikationstechnik, die viele neue Technologiefelder hervorgebracht haben (z.B. Lasertechnik, Robotik, Mikrosystemtechnik, Sensorik, Optotechnik), begründen, hier von einer High-Tech-Branche zu sprechen.

Der Typus 'Großserienfertigung' ist relativ selten zu finden. Trotz des ständigen Wandels der Technologie, der Markt- und der Wettbewerbsverhältnisse hat sich die Unternehmensgrößenstruktur über Jahrzehnte hinweg kaum verändert; dieser Tatbestand

---

8 Eine Ausnahme bilden die Untersuchungen am Schwerpunkt "Marktprozeß und Unternehmensentwicklung" des Wissenschaftszentrums Berlin, die Innovationsprozesse in Klein- und Mittelbetrieben untersuchen. Doch liegt der methodische Schwerpunkt hier auf ökometrischen Verfahren und nicht auf qualitativen Analysen.

weist auf die besonderen Flexibilitätsanforderungen hin, die aus der Herstellung von Investitionsgütern für unterschiedlichste Verwendungszwecke resultieren.[9] Damit angesprochen ist die hohe Innovativität der Branche, die auch darin zum Ausdruck kommt, daß viele der Fachgemeinschaften auf den ersten Plätzen innerhalb der Weltexportstatistik zu finden sind. Insbesondere der Werkzeugmaschinenbau ragt hier hervor. Diese Fachgemeinschaft wird nun detailliert vorgestellt.

3.1 Die Fachgemeinschaft "Werkzeugmaschinen" im allgemeinen Maschinenbau

Die Werkzeugmaschinenbauindustrie stellt Metallverarbeitungsmaschinen her, die sich in zwei unterschiedliche Produktgruppen einteilen lassen. Die größte Gruppe (= 70%) bilden die spanabhebenden Maschinen, also Dreh-, Fräs-, Schleif- und Zahnradschneidmaschinen, die zweite Gruppe sind Maschinen der spanlosen Formung, beispielsweise Pressen, Biegemaschinen und Maschinenscheren. Allerdings sind seit den achtziger Jahren verstärkt neue, nichtmechanische Bearbeitungsverfahren - beispielsweise die Laserschneidtechnik - hinzugekommen.

Innerhalb der 34 Fachzweige des Maschinenbaus nimmt der Werkzeugmaschinenbau im Jahr 1992 hinter der Fördertechnik und der Büro- und Informationstechnik den 3. Rang hinsichtlich des Produktionswertes des gesamten Maschinenbaus und der Beschäftigtenzahl ein. Die wichtigsten Märkte bilden neben der Binnennachfrage - im Jahr 1993 - die USA (263 Mio), China (193 Mio), EX-UDSSR (170 Mio), Frankreich (91 Mio) und Italien (75 Mio). (Vgl. VDW 1993)[10]

Die wichtigsten Abnehmerbranchen sind der allgemeine Maschinenbau und der Fahrzeugbau. (Vgl. Tabelle 2) Das Sample zur Untersuchung der Innovationsprozesse hat von daher sowohl die konzernmäßig organisierte Automobilindustrie als auch den in Klein- und Mittelbetrieben organisierten allgemeinen Maschinenbau zu berücksichtigen.

---

9 Dieser Sachverhalt hat unter dem Stichwort *Rationalisierungsdilemma* in der industriesoziologischen Diskussion eine große Aufmerksamkeit gefunden. (Vgl. bspw. Kern, Schumann 1984; Hildebrandt, Seltz 1989; Schumann u.a. 1994)

10 Dabei ist beachtenswert, daß sich der Export von Werkzeugmaschinen nach China, Frankreich und Italien gegenüber dem Vorjahr um 15%, 54% bzw. 76% verringerte und nur der Export in die ehemalige UDSSR um 108% zunahm, so daß es in den Krisenjahren 1992/93 auch zu keiner deutlichen Belebung durch den Export kam. (Ebd.: 9)

3.2 Produktion, Beschäftigung und Umsatz

Als Investitionsgüterindustrie unterliegt der Werkzeugmaschinenbau traditionell größeren konjunkturellen Schwankungen. Konjunkturveränderungen innerhalb der Verwenderindustrien wirken sich besonders ungünstig auf Produktion, Auftragseingang, Kapazitätsausnutzung und Beschäftigung aus. Allerdings sind die aktuellen konjunkturellen Schwankungen nur bedingt verantwortlich für die seit 1991 diskutierten Krisenerscheinungen. (Vgl. Abschnitt 3.6)

1994 erarbeiteten in der Werkzeugmaschinenbauindustrie 72.000 Beschäftigte[11] einem Produktionswert von 10,398 Milliarden DM. (VDW 1996) Allerdings unterlag auch der WZMB in den letzten beiden Dekaden großen Konjunkturschwankungen. Während 1970 der reale Produktionswert (in Preisen von 1980) einen Spitzenwert von 10,5 Milliarden DM aufwies, sank er 1984 auf einen Wert von 7,8 Milliarden. Das entsprach dem Produktionswert von 1964. Seit 1984 stieg der Wert kontinuierlich und erreichte 1991 mit 17,235 Milliarden DM seinen absoluten Spitzenwert seit Bestehen der Bundesrepublik Deutschland. (Vgl. Tabelle 4)

Bei der prozentualen Aufgliederung der Beschäftigten hinsichtlich ihrer Berufsgruppen zeigt sich immer noch eine Dominanz der Arbeiter (48,3%) gegenüber den Angestellten (44,4%). Noch deutlicher ist dieses Bild in der Betriebsgrößenklasse bis 100 Beschäftigte. Hier ist der Anteil der Arbeiter 57,5%, der Angestelltenanteil nur 34,2%. (Vgl. Tabelle 5). Damit sind hier die Angestelltenabteilungen deutlich kleiner als in den Mittel- und Großbetrieben. Insgesamt waren von 100 ArbeiternehmerInnen 1992 ca. 44 Angestellte, 48 ArbeiterInnen und 7 gewerbliche Auszubildende. Gleichwohl zeigt sich im Trend eine deutliche Zunahme von Ingenieuren und Technikern. Zwischen 1968 und 1995 verdoppelte sich der Ingenieuranteil von 5% auf über 10% aller Beschäftigten. Dies ist im internationalen Vergleich eine überdurchschnittliche Rate und zugleich ein deutliches Indiz für die steigenden Innovationsanforderungen und die konstruktiv-abstrakten Anteile an der Entwicklung neuer Produkte. Eine weitergehende Differenzierung nach den Fachrichtungen der Ingenieure weist einen steigenden Anteil von Elektrotechnikern und Informatikern aus. Diese Entwicklung korreliert mit

---

[11] Das Jahr 1992 hat zu einem - nicht nur konjunkturell sondern auch strukturell verursachten - Einbruch des Umsatzes und der Beschäftigtenzahl in der gesamten Branche, insbesondere im Segment des Standardmaschinenbaus, geführt.

dem Zusammenwachsen der elektrotechnischen und maschinenbaulichen Anteile in den Werkzeugmaschinen. (Vgl. Bundesanstalt für Arbeit 1996: 60)

Die Kapazitätsausnutzung sowie die Reichweite der Auftragsbestände variieren mit der konjunkturellen Entwicklung. Während 1986 eine Kapazitätsausnutzung von 95,7% und eine Reichweite der Auftragsbestände von 10 Monaten erreicht wurden, sanken diese Werte seit Beginn der Krise - etwa seit 1991 - auf eine Reichweite der Auftragsbestände von 4,7 Monate und einer Kapazitätsausnutzung von 70,7%, um dann im dritten Quartal 1995 wieder auf eine Kapazitätsausnutzung von 91,7%, bei einer Reichweite der Auftragsbestände von 8,3 Monate, anzusteigen. Dementsprechend veränderten sich die Investitionen je Beschäftigten von 1986 zu 1994 von 8590 DM zu 5820 DM. (Vgl. VDW 1987; 1994; 1995). Der Kapitalertrag in der Branche beträgt nach Abzug von Steuern weniger als 2% des Umsatzes. (Vgl. Ebd.)

3.3 Fertigungsarten, Produktionsstruktur und Betriebsgrößen

Bei der Produktion von Standardmaschinen ließe sich in der Preiskonkurrenz zu Japan und den USA, insbesondere aber zu den Schwellenländern, kein entsprechender Erfolg realisieren.[12] Das Eingehen auf besondere Kundenwünsche, die damit verbundenen kleinen Losgrößen und die facharbeiterintensive Fertigung[13] mit technologisch hohem *Know-how* belegen, daß die Konkurrenzfähigkeit der bundesdeutschen Werkzeugmaschinenbauindustrie

> "... *weniger durch den Preis als vielmehr durch die stoffliche Güte seiner Produkte bestimmt (wird). Technologische Produktionsvielfalt und hohe Produktqualität werden zu entscheidenden Absatzgaranten.*" (Hildebrandt, Seltz 1989: 462)

---

12 Die Weltmarkterfolge japanischer Hersteller beruhten bisher vor allem auf der Exportstrategie, sich auf bestimmte Marktsegmente mit hohem Marktvolumen zu konzentrieren und hier einfache, hochstandardisierte Produktgruppen anzubieten. Traf diese Exportstrategie in erster Linie die ebenfalls mehr auf Großserien spezialisierte amerikanische Werkzeugmaschinenbauindustrie, "... *trifft andererseits die Tendenz japanischer Hersteller, sich auf technisch hochwertige und komplexe Werkzeugmaschinen zu verlagern, den Kern bundesdeutscher Anbieter.*" (Hildebrandt, Seltz 1989: 482)

13 Vgl. Kern, Schumann 1984; Maurice, Sorge 1990.

Tabelle 1: Beschäftigte und Umsatz nach Wirtschaftsgruppen 1994

Wirtschaftsgruppe	Beschäftigte in 1000	Umsatz in Mrd. DM
Maschinenbau	1017	213,2
Elektrotechnik	924	198,5
Straßenfahrzeugbau	757	226,6
Chemische Industrie	548	175,2
Ernährungsgewerbe	504	191,6

Quelle: VDMA 1995

Tabelle 2: Prozentualer Bestand an Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland in 1991 nach Abnehmer-Branchen (absolut = 1,02 Millionen)

Maschinenbau	33%
Fahrzeugbau	26%
EBM-Industrie	18%
Elektroindustrie	16%
Stahlverformung	4%
Luft- und Raumfahrtindustrie	1%
Sonstige	2%

Quelle: VDW 1991: Altersstruktur des industriellen Werkzeugmaschinenparks in Deutschland, S. 4

Tabelle 3: Fertigungsarten und Produktionsstruktur

Unikatfertigung	1986: 19,8%	1991: 30,9%
Einzel- und Kleinserienfertigung	1986: 57,5%	1991: 48,5%
Mittel- und Großserienfertigung	1986: 18,3%	1991: 18,0%
Massenfertigung	1986: 4,3%	1991: 2,6%

Quelle: Mitteilungen für den Maschinenbau, Heft 2, 1992, S. 2

Tabelle 4: Zahlen aus dem deutschen Werkzeugmaschinenbau (in Millionen)

Jahr	Produktionswert	Beschäftigte
1980	9888	99000
1981	10272	99000
1982	9789	94500
1983	9401	84000
1984	9431	83000
1985	10929	88000
1986	13014	93000
1987	13272	93500
1988	13321	94000
1989	14908	99500
1990	16425	103000
1991	17235*	98000
1992	14159	89500
1993	10706	82500*
1994	10398	72000

* inklusive Neue Bundesländer. Quelle: VDMA 1996: Konjunktur und Statistik.

Tabelle 5: Prozentuale Aufteilung der Beschäftigten nach Betriebsgrößenklassen
Quelle: VDMA 1992

Betriebsgröße in Beschäftigte	Angestellte [%]	Arbeiter [%]	Auszubildende [%]	Ausländische Arbeiter [%]
bis 50	38,1	56,7	5,2	4,5
51 - 100	34,0	58,2	7,8	6,2
101 - 250	44,2	48,1	7,7	4,8
251 - 500	48,8	44,6	6,6	4,7
500 - 1000	43,2	49,6	7,2	5,9
über 1000	44,2	48,1	7,7	8,1
Gesamt	44,4	48,3	7,3	6,1

Tabelle 6: Prozentuale Aufteilung der Unternehmen, Mitarbeiter und Produktion nach Bundesländern. (Quelle: VDW 1995)

Bundesland	Firmen [%]	Mitarbeiter [%]	Produktion [%]	Auftragseingang [%]
Hamburg	1,3	1,2	1,5	1,3
Niedersachsen	4,2	1,7	1,3	1,1
Nordrhein-Westfalen	28,3	24,1	23,0	20,3
Hessen	8,4	6,3	5,6	4,9
Baden-Württemberg	40,9	46,8	50,8	53,0
Bayern	13,5	18,4	15,7	16,7
Berlin (West)	1,7	0,9	1,4	1,8
Rest	1,7	0,6	0,8	0,9
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0

Die auf individualisierte Endprodukte abzielende Strategie, das Eingehen auf sich ständig ändernde Kundenwünsche sowie verkürzte Produktzyklen bedingen eine permanente Innovationsfähigkeit, eine arbeitsintensive Fertigung und einen wenig standardisierten Produktionsprozeß.[14]

Wie Tabelle 3 zeigt, hat sich der Trend zu kleineren Serien und zu Unikaten stark fortgesetzt, insbesondere bei der Massenproduktion ist ein stark rückläufiger Trend zu beobachten. In diesen Zahlen drückt sich vor allem eine Zunahme von Flexibilitätsanforderungen aus, was nichts anderes bedeutet, als daß den technischen und arbeitsorganisatorischen Anforderungen der Unternehmen eine noch größere Bedeutung zukommt.

Die hohen Flexibilitätsanforderungen haben eine weitgehende Taylorisierung der Arbeit in den Unternehmen des Maschinenbaus blockiert. Ein hoher Facharbeiteranteil, ein hoher Dispositionsspielraum der Beschäftigten und eine flexible Arbeitsorganisation mit Elementen von Gruppenarbeit sind Ausdruck dieser Fertigungs- und Marktanforderungen.

Ein Blick auf die Betriebsgrößen verdeutlicht darüber hinaus den geringen Konzentrationsgrad und die starke Fragmentierung der Branche. Von den 380 - 400 Unternehmen des WZMB hatten im Jahr 1994 nur 4,2% über 1.000 Beschäftigte. Diese stellen allerdings fast ein Viertel (24,4%) der Gesamtbelegschaft des WZMB und sind mit einem Viertel (25,2%) am Gesamtumsatz der Branche beteiligt. 49,1% aller Betriebe beschäftigen weniger als 100 Personen (VDW 1996). Während zwischen 1980 und 1987 die absolute Anzahl aller Betriebe nicht unter 425 fiel, gab es im Jahr 1988 nur noch 380 Betriebe. Im gleichen Zeitraum sank der prozentuale Anteil der Betriebe mit weniger als 100 Beschäftigten von weit über 50% auf 45,7% im Jahr 1988. Die Mittelbetriebe konnten im gleichen Zeitraum ihren prozentualen Anteil an der Gesamtbetriebszahl deutlich steigern. Die Großbetriebe oszillieren um einen Wert von 3%. (Ebd.) Offensichtlich gibt es eine Grenze der Betriebsgröße, ab der

---

14 Versprach man sich Anfang der achtziger Jahre noch mit weiteren Technisierungsstrategien eine Lösung des 'Rationalisierungsdilemmas', verstanden als den Gegensatz von Automation und Flexibilität, scheint nun weiterhin zu gelten, daß zur facharbeiterabhängigen, flexiblen Technikherstellung keine Alternative besteht. Die Gefahren einer ineffizienten Übertechnisierung werden öffentlich diskutiert: *"Der zentralistische Ansatz von CIM hat sich nicht bewährt ...*", so der Vorstandsvorsitzende der Traub AG, Hans-Dieter Pötsch (1991: 85).

> "*Übersichtlichkeit und persönliche Kooperation als Prinzipien der Arbeitssteuerung nicht mehr ausreichen.*" (Hildebrandt, Seltz 1989: 427)

Diese Grenze ist nach den Untersuchungen von Hildebrandt, Seltz wohl auch handlungsleitend für das Management:

> "*Entsprechende Reaktionen auf die Gefahr der Überdimensionierung waren der Verzicht auf Größenwachstum und die Teilung zu groß gewordener Betriebseinheiten.*" (Ebd.)

Die regionale Verteilung im Werkzeugmaschinenbau (vgl. Tabelle 6) zeigt eine sehr deutliche Konzentration auf die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg. 69,1% aller Werkzeugmaschinenbau-Betriebe produzieren 1994 in diesen beiden Ländern. In Nordrhein-Westfalen (28,3% aller Betriebe) erwirtschaften 24,1% aller Beschäftigten des WZMB 23% des gesamten Produktionswertes der Branche; in Baden-Württemberg (40,9% aller Betriebe) erwirtschaften 46,8% aller Beschäftigten einen Produktionswert von 50,8%. (Vgl. auch VDW 1996) Die Zahlen verweisen auf eine höhere Konzentration von Kleinbetrieben in Nordrhein-Westfalen.

Die CNC-gesteuerten Werkzeugmaschinen hatten 1994 an der Gesamtproduktion von 119.690 Werkzeugmaschinen einen Stückanteil von 16.919 (= 14,1%) und einen wertmäßigen Anteil von 55,9%. (Vgl. VDMA 1996) Da 1980 der wertmäßige Anteil der NC-Maschinen bei nur 17,4% (absolut = 3.296) aller Werkzeugmaschinen lag, kommt in diesen Zahlen eine besonders hohe Dynamik des Einzugs der Mikroelektronik in den Werkzeugmaschinenbau zum Ausdruck.

Der deutsche Werkzeugmaschinenbau mußte innerhalb von eineinhalb Dekaden eine hohe organisationale Flexibilität aufweisen, um die maschinenbaulichen mit den elektrotechnischen Entwicklungslinien zusammenzuführen. Der auf die Stückzahl bezogene Anteil der NC-gesteuerten Werkzeugmaschinen (13%) verweist allerdings darauf, daß immer noch der allergrößte Teil der produzierten Werkzeugmaschinen konventionell - d.h. ohne Computerunterstützung - gesteuert wird. Fuchs-Frohnhofen u.a. (1993) folgern daraus, daß

> "*bei der Konzeption der Steuerungen und Maschinen nicht die richtigen Strategien in Bezug auf Preis, Leistungsspektrum und Nutzerfreundlichkeit angewandt werden, um den Anforderungen der Anwender gerecht zu werden.*" (Ebd.: 5)

Insbesondere im Exportgeschäft mit den USA wurden seit Mitte der siebziger Jahre

signifikante Steigerungen im Bereich der CNC-Werkzeugmaschinen erzielt, wohingegen der Import von amerikanischen CNC-Werkzeugmaschinen in die Bundesrepublik seit 1978 stagniert. (Rauner, Ruth 1988: 950)

3.4 Forschungsintensität, Patente und Innovativität

Ein nur auf den ersten Blick besonderes Merkmal des bundesdeutschen WZMBs sind die hohen Forschungsausgaben (FuE) der Unternehmen. Diese weisen mit 5 bis 6% vom Umsatz einen deutlichen Vorsprung vor Japan und den USA auf. In diesem Zusammenhang ist auf die Rolle des Staates zu verweisen, der den Technologietransfer fördert und die produktionswissenschaftlichen Forschungsinstitute (z.B. die Fraunhofer-Gesellschaft) zum Teil finanziert. Im Rahmen der industriellen Gemeinschaftsforschung (AIF) hat die mittelständisch strukturierte WZMB-Branche den Vorteil, Forschungsaufträge an diese Institute zu vergeben, so daß sich der Aufbau kostenintensiver betriebseigener FuE reduzieren läßt.[15] Auch im Bereich der Patentanmeldungen im Werkzeugmaschinensektor nimmt die Bundesrepublik Deutschland international eine Spitzenstellung ein.

> "*Im Maschinenbau melden die Deutschen mehr Patente an als die Japaner und die Amerikaner, die immerhin mehr als doppelt so viel Umsatz machen. Im Jahr 1988 waren es fast 5.300 Patente, während Japan und USA jeweils bei rund 4.000 Patenten lagen.*" (Leibinger 1992: 3)

Selbst im Krisenjahr 1992 entfielen von insgesamt 1400 europäischen Patentanmeldungen im Sektor Werkzeugmaschinenbau 26% (1991: 24%) auf Deutschland, 25% auf Japan (1991: 25%) und 17% auf die USA (1991: 15%). Nun wird aber nur ein Teil aller Patentanmeldungen auch wirklich mit einem Schutzrecht zugelassen, so daß auch die tatsächlichen Patenterteilungen mit in Betracht gezogen werden müssen. Auch bei den Patenterteilungen haben die deutschen Patentanmelder die meisten Patente erhalten. Insgesamt wurden 1992 800 neue Schutzrechte erteilt, davon entfielen 28% auf Deutschland (1991: 30%), 20% auf Japan (1991: 20%) und 13% auf die USA (1991:

---

15 Unter dem Aspekt von Kooperation und Konkurrenz kommt dieser Form der industriellen Gemeinschaftsforschung eine besondere Bedeutung zu. (Vgl. Asdonk, Kowol 1995) Darüber hinaus bilden die außerbetrieblichen Forschungsinstitute einen der "*strategischen Orte*" (Rammert 1992b) der Technikgenese. (Vgl. auch Fuchs 1994)

15). (Vgl. VDW-Mitteilungen 1993: 23) Aufgrund der Forschungsaufwendungen und der Patentstatistiken kann - zumindest in quantitativer Hinsicht - kein Verlust von Innovativität in der internationalen Konkurrenz begründet werden. Doch stellt sich die Frage, wie aussagekräftig die Indikatoren sind.

Bedenkenswert ist zunächst der Umstand, daß die japanischen Werkzeugmaschinenhersteller, die insbesondere im Volumengeschäft tätig sind, ihre Forschungsausgaben auf eine relativ große Anzahl von Maschinen verteilen können. Der *return of investment* ist in diesem Fall erheblich höher als bei der kundenorientierten Kleinserien- oder Unikatentwicklung. Umgekehrt ist es naheliegend, daß bei einer kundenorientierten Innovationsstrategie unmittelbare Konkurrenten durch den Patentschutz ausgeschlossen werden, mithin substitutive oder doppelte FuE-Aufwendungen entstehen. (Vgl. dazu Hanusch, Canter 1993) Weiterhin besitzt in Japan die staatlich finanzierte Grundlagenforschung eine hohe Bedeutung für die Unternehmen.

Eine weitere interessante Differenzierung der FuE- und Patent-Indikatoren ergibt sich, wenn zwischen den gegenwärtig zentralen Technikfeldern und denjenigen Technologien unterschieden wird, die zukünftig für den Werkzeugmaschinenbau als bedeutsam erachtet werden. Blickt man auf die gegenwärtig als zentral für die Werkzeugmaschinen erachteten Technikfelder, zeigt eine Auswertung der internationalen Patentstatistik[16] des Instituts für Wirtschaftsforschung in München,

> "*daß westdeutsche Unternehmen im Betrachtungszeitraum mehr Erfindungen international zum Patent angemeldet haben als ihre Konkurrenten. Die US-amerikanischen und japanischen Hersteller folgen mit relativ geringen Abständen auf den nächsten Plätzen.*" (IFO-Analyse 1992: 28)

Der Blick auf die Situation bei den neuen Technologien, die für die Werkzeugmaschinen Bedeutung besitzen, relativiert allerdings die gerade herausgestellte Spitzenstellung der deutschen Technikhersteller. Die IFO-Analyse zeigt, daß japanische Technikhersteller sich stärker auf die neuen Technologien konzentrieren: nichtmechanische Bearbeitungsverfahren (Lasertechnik und Erodieren), Steuerungen, Pulvermetallurgie und die Beschichtung von Metallen und Schneidkeramik. Dies ist ein wesentlicher Faktor für den

---

16 Auf der Grundlage der Datenbank des Europäischen Patentamtes (EPIDOS INPADOC) in Wien hat das IFO-München ein Instrumentarium entwickelt, um den 'technischen Fortschritt' als Ergebnis von Forschungsaktivitäten zu analysieren. (Vgl. IFO-Analyse 1992: 27)

technischen Wandel, da mit diesen Entwicklungen neue dynamische Technikfelder tangiert werden. Auf diesen Technikfeldern ist die Wachstumsdynamik aufgrund der expansiven Nachfrage im Trend stärker als auf den traditionellen Feldern der Werkzeugmaschinenanwendung. (Vgl. IFO-Analyse 1992: 31ff.) Die Statistik in den Bereichen Erosionsmaschinen, Lasertechnik und numerischen Steuerungen zeigt, daß insgesamt 59% der 533 europäischen Patentanmeldungen auf Japan entfielen. Mit großem Abstand folgen Deutschland (14%), USA (8%), Frankreich (6%) und die Schweiz mit 4%. (Vgl. VDW-Mitteilungen 1993)

In diesem Zusammenhang ist auf den hohen Wertschöpfungsanteil der EDV-Steuerungen an den Werkzeugmaschinen hinzuweisen. Steuerungen sind eine wesentliche Stärke der japanischen Hersteller. Hier gelang es schon in den siebziger Jahren - koordiniert durch das japanische Industrie- und Handelsministerium (MITI) -, daß sich die Werkzeugmaschinen-Hersteller auf eine einheitliche Steuerung verständigen konnten (Fanuc), während die deutschen (und die europäischen) Werkzeugmaschinen-Hersteller eine einheitliche Steuerung 'erfolgreich' verhinderten. Siemens war zu Beginn der achtziger Jahre der größte europäische NC-Hersteller, doch begann die Mehrzahl der großen deutschen Werkzeugmaschinen-Hersteller die Entwicklung eigener NC-Systeme und Programmierlogiken (beispielsweise: Gildemeister, Traub, Deckel, Heckler & Koch, u.a.). (Vgl. Maurice, Sorge 1990: 22)[17] Während in Japan gegenwärtig jährlich 60.000 CNC-Steuerungen produziert werden, sind dies in der BRD nur annähernd 15.000. Dies wirkt sich zugunsten des japanischen WZMBs aus, da sein Vorsprung in der Steuerungstechnologie es erleichtert, Universalmaschinen in die Nähe des Sonderleistungsbereichs zu bringen. Außerdem verfügen die Japaner über einen riesigen Inlandsmarkt, der es ihnen ermöglicht, über hohe Stückzahlen die Entwicklungskosten im eigenen Land schnell zu amortisieren, um dann mit Dumping-Preisen ausländische Märkte zu erschließen. Zusätzlich verfügen sie über den größten Wachstumsmarkt der Welt im südpazifischen Raum. Dieser Markt ist von der europäischen und insbesondere der deutschen WZMB-Industrie bislang unzureichend erschlossen.

---

[17] Ein Nachteil der unterschiedlichen Steuerungskonzepte für die Technikverwender ist insbesondere die fehlende Kompatibilität unterschiedlichen Maschinen. Darin kann durchaus ein Grund für die zunächst nur zögerliche Implementation von technischen Vernetzungen gesehen werden. So ist nach einer Untersuchung von Kerst, Steffensen (1995) der Technisierungsgrad in Baden-Württemberg höher als im Durchschnitt der WZMB-Branche, dennoch sind die meisten technischen Lösungen "stand-alone"-Maschinen.

Obwohl kein Zweifel bestehen kann, daß die natur- und ingenieurwissenschaftliche Forschung, insbesondere auch die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit der Unternehmen im internationalen Wettbewerb eine gewichtige Rolle spielt, sind doch hinsichtlich der Patent- und FuE-Indikatoren einige grundsätzliche Bedenken zu erheben, die die Aussagekraft der genannten Zahlen zumindest relativieren.[18]

(1) Noch immer fehlen befriedigende Meßinstrumente, um die Entstehung von technologischem Wissen und die Bedeutung für den Innovationserfolg und den technischen Wandel herauszustellen.

(2) Ein weiteres Problem ist die Reliabilität von Patent-Indikatoren, denn einerseits werden längst nicht alle Innovationen patentiert und andererseits führen nicht alle patentierten Inventionen zu einer erfolgreichen Innovation.

(3) Für die FuE-Indikatoren gilt, daß diese in den einzelnen Ländern unterschiedlich erhoben werden, was die Vergleichbarkeit einschränkt. So fehlt es in Deutschland an einer Normierung der FuE-Angaben, obwohl das Handelsgesetzbuch eine FuE-Berichterstattung fordert. Aufgrund der fehlenden Normierung geben erstens nicht alle Unternehmen ihre FuE-Aufwendungen an, und zweitens wird die Abgrenzung zwischen FuE und Produktion nicht in allen Unternehmen gleich vorgenommen: Prototypenbau, Versuchs- und Prüffelder werden unterschiedlich zugeordnet. Drittens werden FuE unterschiedlich als Ausgaben oder als Investition angegeben. Dies kann starke Schwankungen bewirken, wenn einmal die Errichtung eines Laborgebäudes, ein anderes Mal der Kauf eines Grundstückes oder wenn nur die jährlichen Personal- und Sachmittel einer laufenden Einrichtung berichtet werden. Die Höhe der FuE-Ausgaben sagt darüber hinaus noch nichts über die Effizienz der Maßnahmen aus, da hohe FuE-Ausgaben auch bedeuten können, daß unwirtschaftlich gearbeitet worden ist und umgekehrt; es fehlt also ein auf das Input-Maß bezogenes Output-Maß. Doch selbst wenn ein solches Maß einheitlich verwendet würde, wäre noch zu bedenken,

> "*daß der Input eines Jahres über mehrere Jahre hin Output generieren kann und Outputs regelmäßig nicht im Jahr des Inputs anfallen, sondern später. Je höher der Anteil der Forschung, um so stärker wird dieser Effekt. Deshalb sind auch Vergleiche der Kennzahlen nur unter Vorbehalten möglich.*" (Brockhoff 1992: 142)

Im nächsten Abschnitt wird deshalb die internationale Konkurrenzsituation genauer

---

18 Vgl. zum folgenden Acs, Audretsch 1990; Brockhoff 1992 und Cohen, Lewin 1989.

analysiert. Neben den statistischen Daten sind bei internationalen Vergleichen auch die - nicht ohne weiteres veränderbaren - strukturellen nationalspezifischen Unterschiede in den Innovationsmustern zu beachten. Aufgrund der Abhängigkeiten nationalspezifischer Innovationsmuster von ihren konkurrenziellen, institutionellen, interorganisationalen usw. Arrangements sind voluntaristische Vergleiche, wie sie etwa in der Standortdiskussion geführt werden, ohnehin zurückhaltend zu bewerten.

3.5 Die internationale Konkurrenzsituation

Ein Blick auf die Exportstatistik zeigt die führende Rolle deutscher Maschinenbauunternehmen in der europäischen und Weltmarkt-Konkurrenz. Im Jahr 1992 waren die deutschen Maschinenbauer in 29 von 41 international vergleichbaren Sparten führend im Export. Der Anteil am gesamten Welthandel liegt bei 21,5% (in absoluten Zahlen sind das über 100 Milliarden DM), gefolgt von den Amerikanern mit 18% und den Japanern mit 17%. (Vgl. Leibinger 1992: 3) Der Werkzeugmaschinenbau hat aufgrund der seit 1992 bestehenden Krisensituation seine führende Weltposition an Japan abgeben müssen. In der internationalen Konkurrenz lag Deutschland mit einem Anteil von 26,5% am Weltwerkzeugmaschinenexport - 1991[19] - auf dem ersten Rang vor Japan (20,7%). 1994 betrug der Anteils Deutschlands 22,5%, der Anteil Japans 25,4% am Weltwerkzeugmaschinenexport. (Vgl. VDW 1996) Im Vergleich dazu kommen die USA lediglich auf einen Prozentsatz von 7,6. Doch obwohl Japan in den letzten Jahren enorme Steigerungsraten erzielen konnte, gelang es Deutschland als einziger Nation, sich in dieser Konkurrenz zu behaupten.

Im langfristig-historischen Trend zeigt sich insbesondere für die USA eine deutliche Verschlechterung der Produktivitätsentwicklung. Seit den siebziger Jahren wurde für die USA ein *Produktivitäts-slow-down* festgestellt, während sich Japan und die Bundesrepublik in einem Aufholprozeß befanden. (Dörr, Naschold 1992: 176) Ein Leistungsvergleich zwischen USA, Japan und der Bundesrepublik Deutschland zeigt den deutlichen Niedergang der amerikanischen Werkzeugmaschinenbauindustrie: 1955 hatten die USA noch ein Werkzeugmaschinenanteil von 40,4% an der Weltproduktion gegenüber Japan (0,6%) und der Bundesrepublik (14,1%). 1985 lag der prozentuale

---

[19] Inklusive des geschätzten Anteils der neuen Bundesländer.

Anteil an der Weltproduktion von Werkzeugmaschinen in den USA bei 11,4%, in Japan bei 24% und in der Bundesrepublik bei 14,2%. (Ebd.: 177) Die Weltmarkterfolge japanischer Hersteller beruhten zunächst auf einer Exportstrategie, die sich auf bestimmte Marktsegmente mit hohem Marktvolumen konzentrierte. Hier wurden einfache, hochstandardisierte Produkte zu extrem günstigen Preisen offensiv angeboten. Traf diese Exportstrategie in erster Linie die ebenfalls mehr auf Großserien spezialisierte amerikanische Werkzeugmaschinenbauindustrie, zeigen sich aktuell Tendenzen, daß auch japanische Werkzeugmaschinenhersteller im Segment der technisch hochwertigen und komplexen Werkzeugmaschinen Innovationsanstrengungen unternehmen. (Vgl. Hildebrandt, Seltz 1989: 482)

In einer stärker systematischen Weise können die langfristigen Verschiebungen der Produktivitätsentwicklung in der Triade USA, Japan und der Bundesrepublik u.a. mit den Unterschieden in der jeweiligen Konfiguration nationaler Innovationssysteme erklärt werden. Zumindest lassen sich relevante Differenzierungen zwischen den nationalen Innovationssystemen vornehmen.

Die japanische Wirtschaft ist hochgradig abhängig von kleineren und mittleren Unternehmen. Dort arbeiten achtzig Prozent aller Beschäftigten. Im Produktionssystem sind es 72% im Vergleich zu 53% in den USA. Das japanische Produktionssystem besteht aus einem mehrschichtigen *subcontracting system*, in dem 3/5 aller kleineren und mittleren Unternehmen eingebunden sind. Während diejenigen Betriebe, die in der ersten Reihe der Hierarchie sitzen, sehr gute ökonomische Bedingungen haben und auch an der Produktentwicklung der Großunternehmen beteiligt sind, verschlechtern sich die Bedingungen sukzessive bis in die vierte Reihe hinab. Die Wirtschaft Japans läßt sich in verschiedene Verbundgruppen aufteilen:

- die horizontalen Verbundgruppen (*Kigyo Shudan*), die in ihrem inneren Kern aus ca. 20 Großunternehmen bestehen und zu deren äußeren Kern zumeist zwischen 100 und 200 Unternehmen gehören, die ihrerseits wiederum Beteiligungen an bis zu 1.000 Betrieben halten;
- die vertikalen Verbundgruppen, die sich um die großen Unternehmen ranken und die sich in Produktionsverbünde (*Seisan Keiretsu*) und Vertriebsverbünde (*Ryutsu Keiretsu*) ausdifferenzieren.

Zusammen bilden diese ein elaboriertes hierarchisches interorganisatorisches Netzwerk

(*Keiretsu*).[20] Führende Gruppen bilden zumeist die Banken. Der extensive Gebrauch des *Subcontractings* unterscheidet sich von allen anderen Ländern. Als Beispiel: General Motors in den USA fertigt 70% aller benötigten Einzelteile selbst (vertikale Integration), Toyota läßt bis zu 90% außerhalb des eigenen Unternehmens fertigen. (Vgl. Glasmeier, Sugiura 1991: 401)

In den Betrieben findet ein kontinuierlicher Verbesserungsprozeß (*Kaizen*) statt. Ein aktives Fehlermitteilungsverhalten der Beschäftigten im gesamten Produktionsprozeß wird - anders als in tayloristisch-organisierten Unternehmen - gefordert und honoriert. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für die geforderte Nullfehlerqualität, sie ermöglicht den Verzicht auf aufwendige Qualitätsprüfungen und -nacharbeiten nach vollendetem Produktionsprozeß. Ein wichtiger Nebeneffekt ist die rasche Verbreitung technologisch neuer Erkenntnisse in der Gruppe.

Weiterhin besteht ein besonderes Verhältnis von Kooperation und Konkurrenz zwischen den Unternehmen als auch im Zusammenspiel der Unternehmen mit dem Industrie- und Handelministerium (MITI). Die Unternehmen des Werkzeugmaschinenbaus führen aufwendige Wertanalysen durch, was in den deutschen Betrieben bislang kaum der Fall war. (Moritz 1994) Die Produktentwicklung erfolgt hier unter äußerst intensiver Beobachtung der weltweiten Absatzmärkte und der Konkurrenz, wobei das MITI - neben den Banken und den Universalhandelshäusern - einen wichtigen Anteil an diesem Informationstransfer besitzt. Insbesondere die Erfolge der japanischen Steuerungs-Technik - der Steuerungshersteller Fanuc verkauft weltweit mit großem Abstand die meisten Steuerungen - verweisen auf die reziprok-konsensuellen Strukturierungsleistungen zwischen der Ökonomie und den technikregulierenden Institutionen. (Vgl. Glasmeier, Sugiura 1991)

Im nationalen System der Innovation in den USA sind die Interaktionsbeziehungen zwischen den Unternehmen der Werkzeugmaschinenbauindustrie und dem Staat über das Department of Defense koordiniert. Die einflußreiche Studie von Dertouzos et al. (1989) kommt in der Bewertung dieser Koordinationsform zu dem Schluß,

---

20 Differenzierte Analysen der japanischen strategischen Unternehmensverflechtungen (Keiretsu) und ihre Bedeutung für den Maschinenbau finden sich in den Analysen des IFO-Instituts für Wirtschaftsforschung (Vieweg, Hilpert 1993; Hilpert 1994); theoretische Erklärungen des japanischen Wirtschaftssystems liefern beispielsweise Aoki 1990; Helou 1992 und Fruin 1992.

> *"daß die geringe finanzielle Ausstattung (low funding) der Programme sowie ihr Focus auf Kostenreduktion, vor allem aber ihre Orientierung auf den militärischen Sektor, nicht geeignet sind, die US-amerikanische Werkzeugmaschinenbauindustrie zu revitalisieren und wieder auf die Beine zu bringen."* (Dörr, Naschold 1989: 184)

Hirsch-Kreinsen (1989; 1993) kommt in einem Vergleich zwischen der US-amerikanischen NC-Entwicklung und der Entwicklung in Deutschland zu dem Ergebnis, daß in den USA insbesondere ein Konzept weitgehender Automatisierung mit dem Ziel verfolgt wurde, eine arbeitsteilig-zentralistische Arbeitsorganisation mit weitgehender Dequalifizierung der Produktionsarbeiter zu implementieren. Insbesondere die Verwendungsinteressen der amerikanischen Air Force spielten bei der Entwicklung der komplexen und aufwendigen Steuerungstechnik eine wichtige Rolle:

> *"Grundlegend für die US-NC-Technik war die militärisch beeinflußte Steuerungs- und Rechnertechnik auf der Basis spezialisierter und standardisierter Werkzeugmaschinenkonzeptionen für die Serien- und Großserienfertigung."* (Hirsch-Kreinsen 1989: 192)

Da eine weitgehende Orientierung an den Interessen der - staatlich finanzierten - militärischen Luftfahrtindustrie stattfand, konnten die technischen Entwicklungen zunächst ohne direkten Bezug zur ökonomischen Effizienz und zu den privatwirtschaftlichen Marktrisiken erfolgen. Trotz einer starken Position der amerikanischen Forschungsaufwendungen im Werkzeugmaschinenbausektor standen die Erfolge auf den Absatzmärkten dazu im Widerspruch. Das Münchener IFO-Institut erklärt den Widerspruch zwischen hohen Forschungsaufwendungen und mangelnden Absatz ebenfalls damit,

> *"daß viele Entwicklungen dem militärisch-strategischen Bereich zuzuordnen sind, der von der Regierung gefördert wird."* (Vieweg, Hilpert 1993: 6)

Die Verwendungsinteressen anderer Branchen an der NC-Technik - beispielsweise die Autoindustrie, die Elektroindustrie und der Maschinenbau - stimmten insofern mit der Luftfahrzeugindustrie überein, da es sich hier ebenfalls um großbetriebliche Strukturen mit standardisierten Produktionsprozessen handelte. Die kleineren und mittleren Betriebe der Metallverarbeitung

> *"wurden erst sehr spät, hauptsächlich durch das Angebot leichter und universell einsetzbarer ausländischer, vornehmlich japanischer und deutscher Steuerungen für den Einsatz von NC-Maschinen erschlossen."* (Hirsch-Kreinsen 1989: 193)

Die einseitige Konzentration der amerikanischen Werkzeugmaschinenbauindustrie auf den militärisch-großindustriellen Bereich läßt sich auch an den Exporterfolgen japanischer Hersteller in Nordamerika ablesen, die in den achtziger Jahren einen Anteil von fast 40% innehielten. (Vieweg, Hilpert 1993: 3) Nur mit weitgehender staatlicher Unterstützung konnten die sukzessive entstandenen Diffusionsbarrieren bearbeitet werden. (Vgl. auch Noble 1986: 214ff.) Frühe technologische Alternativen, wie das "*Record-Play-back*"-Verfahren[21] wurden aufgrund der eben herausgearbeiteten großbetrieblichen (und militärischen) Interessen nicht weiterverfolgt; erst etwa seit 1983/84 wurden amerikanische CNC-Maschinen angeboten, die auch für die Werkstattprogrammierung geeignet waren. Aber auch die spezifischen Arbeitsmarktstrukturen, u.a. die begrenzte Verfügbarkeit qualifizierter Facharbeiter, unterstützten die Entwicklung weitgehender Automatisierungskonzepte. (Hirsch-Kreisen 1989: 196; Vieweg, Hilpert 1993: 6) Darüber hinaus fehlt in den USA eine *praxisbezogene Maschinenbaukultur*, so daß

> "*von einer starken und deutlichen Trennung zwischen praktischer Technikanwendung und wissenschaftlich-theoretisch orientierter Technikentwicklung auszugehen (ist).*" (Hirsch-Kreinsen 1989: 197)

Gegenüber der sehr viel stärker praxisbezogenen Produktinnovation in Deutschland ist also in den USA eine stärkere Ankopplung der Technikentwicklung an die Wissenschaftsentwicklung festzustellen. Unterstützt wird diese Differenz auch durch die unterschiedlichen beruflichen Ausbildungswege: Anders als das betriebliche Ausbildungssystem der USA fördert das duale Berufsausbildungssystem in Deutschland einen Arbeitskräftetypus, der sowohl praktisch als auch theoretisch ausgebildet ist und der von daher auch über die Voraussetzungen verfügt, sowohl in enger Abstimmung mit den Ingenieuren und Technikern an der inkrementalen Technikentwicklung aktiv teilzunehmen als auch selbst - über innerbetriebliche Karrierewege - in Aufstiegspositionen (z.B. Konstrukteur) zu gelangen. Die praxisnahen technischen Fachhochschulen in Deutschland bilden einen Technikertypus aus, der eher an Machbarkeit und Funktionsfähigkeit orientiert ist als die an wissenschaftlichen Fragestellungen ausgebildeten *Mechanical Engineers* amerikanischen Typus oder die Absolventen japanischer ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge. (Vgl. Hirsch-Kreinsen 1994: 97)

---

21 Von Noble (1986) "*Fähigkeitsmultiziplierer*" genannt, da das beim Facharbeiter verbleibende Produktionswissen lediglich technisch reproduziert, nicht aber substituiert wird.

Die deutsche NC-Technik wies gegenüber der amerikanischen NC-Technik von Beginn an eine wesentlich breitere Entwicklungspalette auf. Gleichzeitig waren die Steuerungen flexibler und universeller einsetzbar. Die Konzepte waren zwar auf Rationalisierung ausgerichtet, nicht aber auf eine generelle Substitution qualifizierter Arbeitskraft. Die allgemeinen Verwendungsinteressen - die in Deutschland insbesondere von der Automobilindustrie und dem Maschinenbau formuliert werden - richteten sich eher auf technologische (Werkzeugfestlegung, Spezifizierung von Materialeigenschaften, Maschinendrehzahlen etc.) als auf geometrische Bearbeitungsprobleme. Auch wurden wesentlich mehr Programmiersprachen entwickelt. Lediglich die Luftfahrtindustrie richtete sich am US-amerikanischen System APT (Bindung an einen zentralen Großrechner) aus. (Vgl. Hirsch-Kreinsen 1989: 179) Frei programmierbare CNC-Steuerungen traten in Deutschland später als in den USA auf, da sie zunächst nur als Ergänzung der NC-Technik angesehen wurde.

> "*Basis der NC-Technik waren Werkzeugmaschinen-Konzepte, die nur teilweise einen verwissenschaftlichten Charakter aufwiesen und die vermutlich bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt auf einen hohen Anteil von Empirie und praktischer Erfahrung basieren.*" (Ebd.: 194)

In diesem Zusammenhang sind die spezifischen technikgenese-relevanten Kontexte der Bundesrepublik Deutschland zu beachten: Die vorherrschende Einzel- und Kleinserienfertigung, die hohe Weltmarktverflechtung, ein permanenter Innovationsdruck, die mittel- bis kleinbetrieblichen Strukturen, eine gering ausgeprägte Arbeitsteilung in den Unternehmen der Werkzeugmaschinenbauindustrie und die - zumindest in der Vergangenheit[22] - hohe Verfügbarkeit qualifizierter Facharbeit, die sich in einer engen Verflechtung von Theorie und Praxis ausdrückt. Die (nationalspezifischen) Grundlagen der Evolution der Produktionstechnik in den USA, Japan und der Bundesrepublik weisen also eine Reihe spezifischer Differenzen auf[23], die sich auf die jeweiligen

---

22 So warnte beispielsweise Burkart Lutz (1993) auf dem 26. Deutschen Soziologentag in Düsseldorf vor einer irreversiblen Tendenz des Verschwindens von Produktionsintelligenz infolge der zunehmenden Verquickung von maschinenbaulichen Traditionen mit der mehr theoretischen Elektrotechnik und Informationstechnik. (Vgl. auch Hirsch-Kreinsen 1994)

23 Weitere nationalspezifische Unterschiede, die für die Technikgenese relevant sind, finden sich beispielsweise zwischen der Bundesrepublik Deutschland und Frankreich. (Vgl. Maurice, Sorge 1990; Lutz; Veltz 1989)

Bedingungen innerhalb der technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsysteme zurückführen lassen.

3.6 Krisen- und Umstrukturierungsprozesse in der Werkzeugmaschinenbauindustrie seit 1991

Bis 1990 lief die Produktion im Maschinenbau auf Hochtouren. Ein Zuwachs des Auftragseingangs um real 11% gegenüber dem Vorjahr, ein Auftragsbestand mit dem Höchstrekord von 7,3 Monaten und ein erwarteter Produktionszuwachs von 4% bis 5% führten zu einem Beschäftigungszuwachs um 43.000 Personen auf insgesamt 1,16 Millionen Beschäftigte. Nach Meinung des damaligen VDMA-Vorsitzenden Leibinger würde sich der konjunkturelle Aufschwung in den neunziger Jahren fortsetzen, da ein unverändert hoher Modernisierungsbedarf bestehe,

> "*der von zusätzlichen Impulsen im Westen durch den europäischen Binnenmarkt und im Osten durch den Aufbruch zur Marktwirtschaft flankiert werde.*" (VDMA-Präsident Leibinger, vgl. NW vom 7.3.1990)

Auch das IFO-Institut für Wirtschaftsforschung hatte Anfang des Jahres 1991 in seinem Branchenreport eine gute Wettbewerbsposition für die deutschen Werkzeugmaschinenbauer ausgemacht.

Ab Mitte 1991 gerieten dann fast alle größeren deutschen Werkzeugmaschinenbaubetriebe in die Krise. Der Auftragsbestand bei Auslandsaufträgen lag 20% unter dem Vorjahr, während die Inlandsnachfrage nur um 10% gestiegen war. Real lagen die Bestellungen im ersten Halbjahr 1991 9% unter dem Vorjahreswert. (NW 31.7.1991) Wurde Anfang 1992 noch prognostiziert, daß die konjunkturelle Talfahrt bald vorüber sei, sprach man im laufenden Jahr 1993 von der schwersten Krise des Maschinenbaus seit der Nachkriegszeit. (Vgl. Mitteilungen für den Maschinenbau 4/93) Was war passiert?

Was zunächst nur als Absatzschwäche kommentiert wurde, stellte sich bald schon als Strukturproblem einer ganzen Branche heraus. Den anfänglichen Standortargumenten (zu hohe Löhne und Lohnnebenkosten, Steuern und betriebliche Sozialleistungen,

usw.) kamen neue, gewichtige Problemanalysen hinzu. Stichworte wie '*Over-engineering*', '*bürokratisch-sequentielle Innovationsorganisation*', '*Outsourcing*' und '*nachlassende Innovationsdynamik*' signalisierten dies. Neben der bekannten '*Standortdiskussion*' wurden auch '*zu lange Entwicklungszeiten*', eine '*unzureichende betriebliche Umsetzung von Anwenderanforderungen*', eine '*mangelnde Koordination technologischer und marktorientierter Entwicklungsziele*' usw. verantwortlich gemacht. Nicht allein die neuen Technologien zählten als Grundlage des japanischen Produktivitätsvorsprungs - Japan avancierte mittlerweile zum stärksten Konkurrenten der exportorientierten deutschen Maschinenbauer -, sondern

> "*die konsequente Anwendung neuer Methoden sowie das Aufgeben herkömmlicher Strukturen der Organisation verbunden mit der Fähigkeit, die Menschen in den Fabriken ständig zu hohen Leistungen zu motivieren.*" (VDI-Nachrichten vom 20.9.1991, S. 28)

Eine Studie, die im japanischen Werkzeugmaschinenbau durchgeführt wurde, kam zu dem Ergebnis:

> "*Es zeigt sich, daß die drei untersuchten japanischen Werkzeugmaschinenhersteller, verglichen mit einem durchschnittlichen deutschen Maschinenbauunternehmen, die zweieinhalb- bis fünffache Produktivität aufweisen; die Umsatzrenditen nach Steuern liegen beim Fünf- bis Zehnfachen.*" (Brödner 1993: 28)

Diesen Befund erklärt Brödner (1993) nicht nur mit den bekannten Erklärungsansätzen der längeren Jahresarbeitszeit bzw. den niedrigeren Personalkosten in Japan (diese können seinen Untersuchungen nach nur einen Teil des Produktivitätsvorsprungs erklären), sondern aus dem insgesamt überlegeneren japanischen Produktivitätssystem, dessen wichtigsten Eigenschaften sind:

"- *systematisches Vereinfachen von Produkten und Prozessen mit der Folge geringerer Teile- und Baugruppenvielfalt, weniger unterschiedlicher Betriebsmittel und Organisationsschnittstellen;*
- *produktorientierte statt funktionale Organisation mit der Folge ganzheitlicher Arbeitsaufgaben, weniger Schnittstellenverluste und Koordinationsaufwand;*
- *Einsatz von zuverlässiger Standardtechnik, deren auch unbewachter Dauerbetrieb durch organisatorische Vorkehrungen von qualifizierten Arbeitskräften ermöglicht wird (hoher Anteil von 'Geisterschichten');*
- *hoher Wert des Erfahrungswissens, das in einem Prozeß ständiger Verbesserung systematisch genutzt wird;*
- *regelmäßige Bewertungen von Leistung und Können bestimmen Einkommen und Karrierepfade;*

- *Führung durch Konsultation und Konsensbildung über alle Bereiche und Ebenen unter Einbeziehung der Betriebsgewerkschaften.*" (Brödner 1993: 29)

Überkomplizierte und zu teure Maschinen, eine zu hohe Fertigungstiefe, zu lange Entwicklungszeiten und hierarchisch-arbeitsteilige Organisationsstrukturen galten nun als die eigentlichen Probleme der Branche. (Vgl. auch: Manager Magazin 4/92: 10; Kerst, Steffensen 1995) Während in den siebziger Jahren hochwertige Spezialprodukte noch zu fast jeden Preis angeboten und erfolgreich verkauft werden konnten, reichte die Strategie *differenzierter Qualitätsproduktion* mit geringem Bezug zu den Fertigungskosten allein nicht aus, die Rolle eines *global players* aufrechtzuerhalten. Als Zulieferant für die Automobil- und Maschinenbauindustrie wurde auch der Werkzeugmaschinenbau immer stärker in den internationalen Zeitwettbewerb involviert. Verschärfte Weltmarktkonkurrenz und eine außerordentlich dynamische Entwicklung der Mikroelektronik führten zu einer Verkürzung der Produktlebenszyklen von 15 bis 20 Jahren auf durchschnittlich fünf Jahre. (WZB-Mitteilungen 1995)

Am Beispiel der größeren Werkzeugmaschinenbaubetriebe (Gildemeister-Konzern, Traub, Deckel, Maho, u.a.) sollen im folgenden die Krisenwahrnehmung und die daraufhin erfolgte Einleitung von Restrukturierungsmaßnahmen nachvollzogen werden.

Der Konzern Gildemeister gehörte bis 1991 noch zu den zehn stärksten Werkzeugmaschinen-Unternehmen der Welt und reklamiert für sich die Position eines *global players*. Der Konzernumsatz des Serienmaschinenherstellers Gildemeister betrug 1989 noch 591 Millionen, für 1990 waren knapp 800 Millionen geschätzt. Davon entfielen ca. 75 Prozent auf vier drehmaschinenproduzierende Gesellschaften. Im Gildemeister-Konzern sank der Auftragseingang in den ersten vier Monaten 1991 gegenüber dem Vorjahr um 35%. Nun fiel dieser Einbruch u.a. auch deshalb prozentual so hoch aus, da das Vorjahr noch ein Rekordgewinnjahr gewesen war. Auch in den vorhergehenden Jahre wurden ausschließlich schwarze Zahlen geschrieben. 1990 hatte Gildemeister mit 3740 Mitarbeitern einen Umsatz von 716 Millionen erwirtschaftet, mehr als zehn Prozent weniger als prognostiziert.

Ab 1991 kam es infolge der Krise zu weitreichenden Veränderungen innerhalb der Konzernstruktur. Die verschiedenen Firmen des Konzerns wurden ab dem 1.01.93 zu einem wesentlichen Teil zusammengefaßt. Zwei ehemals selbständige Geschäftseinheiten verloren ihre Selbständigkeit, mit einem weiteren *Top-ten*-Unternehmen aus Süddeutschland - der Deckel AG - wurde eine gemeinsame Vertriebsorganisation gegründet

und im Bereich der Steuerungsherstellung wurde mit einem neuen Zulieferanten zusammengearbeitet. Zudem gab es im Unternehmen im erheblichen Maße Kurzarbeit und Entlassungen.

Die mangelnde Auftragslage bei gleichzeitig extremen Preiswettbewerb - u.a. durch die japanische Konkurrenz - und der Wegfall der Ostmärkte führten dazu, daß diese Betriebe einen Großteil ihres Kapitals aufbrauchten und darauffolgend von Konkurssorgen geplagt wurden. Der frühere Vorstandsvorsitzende des Konzerns Gildemeister - Axel Kemna - führte dazu in einem Interview mit der Deutschen Welle aus:

> "*Deckel und Gildemeister hatten zusammen bei dem Produktprogramm, das sie jetzt vertreiben, 1990 ein Volumen von einer Milliarde Mark. Und 1992 hatten wir ein Geschäftsvolumen von 500 Millionen Mark - ohne Marktanteile zu verlieren. Wir haben also die Hälfte Geschäftsvolumen verloren - und dieses rein aus konjunkturellen Gründen.*" (DW vom 6. Mai 1993: 2)

Zu dem häufig geäußerten Vorwurf, die deutschen Werkzeugmaschinenbauer würden zu aufwendige Maschinen konstruieren (vgl. bspw. Politsch 1993; Brödner 1993), die dann eben zu teuer sind, äußerte der Kemna im gleichen Interview:

> "*Natürlich gibt es in Deutschland viele Werkzeugmaschinenhersteller, die perfektionistisch konstruiert haben. Nur: Dieses haben sie ja nicht aus eigenen Willen getan, weil sie die Maschinen so schön fanden, sondern weil der Kundenkreis in Europa und auch Deutschland - ich denke da an Firmen wie Daimler, BMW und so weiter - der Kunde hat uns zum Teil dazu gezwungen, Maschinen zu bauen, die auch noch singen und tanzen können. Insofern hat sich der Werkzeugmaschinenbau gegenüber seinem Stammarkt durchaus marktorientiert verhalten.*" (Ebd.: 9)

Ob diese Verweise auf die Konjunkturlage und die Sonderwünsche deutscher oder europäischer Technikverwender eine hinreichende Krisenerklärung bieten, erscheint fraglich. Zumindest läßt sich im Trend eine Zuspitzung des Problems von Spezialisierung, hoher Fertigungstiefe, großen Lagerbeständen und der Erzielung von Skaleneffekten bei gleichzeitig bürokratisch-phasierten Innovationsprozessen feststellen. (Vgl. Brödner 1993)

Daß allein die Technikverwender für das *Over-engineering* verantwortlich sein sollen, wird selbst innerhalb der Branche nicht allgemein geteilt, daß die Werkzeugmaschinenbauer selbst auch an (Fehl-)Entwicklungen teilhatten, die insbesondere den größeren Unternehmen der Branche viel Geld kosteten, macht der ehemalige Vorstandsvorsitzende von Traub deutlich: Seiner Ansicht nach ist die seit den achtziger Jahren

favorisierte CIM-Technik eine "*der tragischsten Fehlentwicklungen in der deutschen Fertigungstechnik*" (Politsch 1993: 22) gewesen.

Ob nun die Technikhersteller oder die Technikverwender für das *Over-engineering* verantwortlich sind, kann im Rahmen des Konzepts rekursiver Technikentwicklung auch als eine falsch gestellte Frage angesehen werden. Auf der Grundlage dieses Konzepts müßte die Frage folgendermaßen reformuliert werden: Inwieweit haben bei veränderten Marktbedingungen und neuen technologischen Unsicherheiten die ehemals erfolgreichen Netzwerkstrukturen zwischen den Herstellern, Verwendern und Kontextbildnern nicht kontextsensitiv reagiert? Gab es eine konservative Strukturierung durch Erfolg? Anders formuliert: Hatte nicht gerade der Erfolg der achtziger Jahre einen wesentlichen Anteil daran, daß die neuen Herausforderungen nicht frühzeitig antizipiert wurden? Am Beispiel der Region Baden-Württemberg, die in den achtziger Jahre geradezu als Paradebeispiel einer innovativen *governance structure* angesehen wurde (vgl. bspw. Piore, Sabel 1989), wird von Semlinger (1993) eine solche Sichtweise nahegelegt:

> "*Price competitive has reached high-end markets and threatens to turn a former competitive advantage into an handicap... Correspondingly, what was appreciated as a state-of-the-art product is now considered 'overengineered'.*" (Zit. nach: Cooke 1996: 53)

Für eine verspätete Krisenwahrnehmung einiger Technikhersteller sprechen auch die noch Anfang der neunziger Jahre getätigten Großinvestitionen. Noch 1991 hatte beispielweise Maho für fünfundzwanzig Millionen DM den ostdeutschen Fräsmaschinenspezialisten Seebach gekauft. (Vgl. Spiegel 51/1992) In Kempten entstand 1990 für 167 Millionen DM eine der modernsten Fertigungsanlagen Europas[24], die zukünftig einen Gewinn von über einer Milliarde erwirtschaften sollte. 77 Millionen wurden in den Maschinen- und Anlagenpark investiert, 65 Millionen in den Gebäudekomplex. Mit diesem riesigen Fixkostenblock sollten 76.000 Stunden im Drei-Schichtbetrieb ermöglicht und ein Umsatz von über einer Milliarde DM geschaffen werden. 1993 waren es -

---

[24] So urteilt z.B. Herzog (Herausgeber der Technischen Rundschau): Was die Ingenieure "*technisch auf die Beine gestellt haben, von der Tiefe der Maschinenverkettung über den Materialfluß bis zur Fertigungssteuerung, dürfte in Europa seinesgleichen suchen. Die Durchlaufzeiten für die Komplettbearbeitung sind sensationell kurz. Das zeigt, zu welchen technischen und logistischen Leistungen die Maho-Mitarbeiter fähig sind.*" (Herzog 1993: 14)

zusammen mit der Deckel-Produktion - gerade mal 38.000 Stunden. (Vgl. Technische Rundschau 1993) Die "*CIM-Fabrik aus dem Lehrbuch*" (Herzog 1993) zeigt deshalb auch, wie wenig die unternehmerischen Planungshorizonte noch zu Beginn der Strukturkrise des Werkzeugmaschinenbaus für die kommenden Probleme sensibilisiert waren. Mit der entstehenden *Fixkostenfalle* stand Maho 1992 vor einem riesigen Schuldenberg bei gleichzeitig dramatischen Auftragsrückgang.

Ähnlich erging es dem Konkurrenten Deckel. Das Unternehmen, das seit 1989 rote Zahlen schrieb, verkaufte im November 1991 Unternehmensanteile an den bayerischen Baumaschinen-Unternehmer Walter Eder. Ein anschließender Kapitalschnitt - eine Maßnahme gegen die Überschuldung und drohendem Konkurs - führte zum Ausscheiden der Gründerfamilien aus dem traditionellen Unternehmen.

Die Traub AG mußte 1991 einen Rückgang der Auslandsbestellungen von 45% hinnehmen. Mit einem Umsatzrückgang von 10% war gerechnet worden. Das Thema Fertigungstiefe und *Outsourcing* wurde hier zwar schon relativ früh erkannt und angegangen, allerdings zunächst ohne spürbare Effekte. Noch 1986 hatte die Traub AG eine Eigenfertigungsquote von 60%. Diese konnte bis 1991 auf 48% gesenkt werden. Für 1994 wurde geplant, die Fertigungstiefe auf 35% zu reduzieren, weitere Maßnahmen sahen die Einführung der *schlanken Produktion* vor, eine drastische Reduzierung der Teilevielfalt bei gleichzeitigem Ausbau der modularen Bauweise. Hierfür sollte ein weltweiter Produktionsverbund mit den Tochterunternehmen aufgebaut werden. (Vgl. Pötsch 1991) Trotz des absehbaren Rückgangs der Nachfrage kaufte der Maho-Vorstand 1991 für 25 Millionen DM den ostdeutschen Fräsmaschinen-Hersteller Seebach (vgl. Der Spiegel 51/1992), womit auf der Fixkostenseite neue Probleme entstanden.

Innerhalb der Werkzeugmaschinenbau-Branche hatte man ab 1991 über Vertriebskooperationen und strategische Allianzen nachzudenken begonnen. Während vor allem die Banken auf Fusionen drängten, wurde in der Branche über eine radikale Reorganisation der Unternehmen nachgedacht. (Vgl. Spiegel 51/1992) Anfang 1993 gründete die Traub AG eine Vertriebskooperation mit dem Werkzeugmaschinenhersteller Bertold Hermle AG und übernahm am 1.10.1993 die Heckert Chemnitzer Werkzeugmaschinenbau GmbH. Das strategische Konzept integrierte nun die Herstellung, den Vertrieb und den Service für die Maschinen. 1993 wurden die Schulden durch Gläubigerbanken und den Hauptaktionär um 80 Millionen reduziert. Für 1994 wurde mit den insgesamt 2000 MitarbeiterInnen ein Umsatz von 350 Millionen erwartet. (Vgl. Technische Rundschau, Heft 43, 1993)

1992 hatten die Deckel AG und der Gildemeister-Konzern eine Vertriebs-Kooperation gegründet, mit der jährlich zehn Millionen an fixen Vertriebskosten eingespart werden sollten. Maho und Traub andererseits kooperierten ab diesem Zeitpunkt in den Bereichen Vertrieb, Einkauf und Entwicklung. Die 1993 gegründete Deckel/Maho AG mußte im Juni 1994 Konkurs anmelden und wurde den Unternehmen Traub und Gildemeister zum Verkauf angeboten. Mitte Juli 1994 übernahm die Gildemeister AG die Deckel/Maho AG. Zu diesem Zeitpunkt wies der Konzern für das Geschäftsjahr 1993 ein Minus von 59,2 Millionen Mark aus, nachdem im Jahr 1992 der Verlust 76,7 Millionen Mark betrug. Mit der Übernahme von Deckel/Maho sollte das Kapital von 42,3 auf 76,2 Millionen erhöht werden. Diese Transaktionen verstärkten insbesondere den Einfluß der Banken. So hält die Westdeutsche Landesbank Anteile von knapp 20% am Gesamtaktienkapital. Mit der Zusammenführung von Gildemeister und Deckel/Maho entstand ein Produktionspotential für Dreh- und Fräsmaschinen, das in dieser Kombination einmalig in Europa ist. (Vgl. Neue Westfälische vom 29.7.1994)

Spekulationen über eine große "Deutsche Werkzeugmaschinenholding" (vgl. Süddeutsche Zeitung vom 21. Juli 1994) bekamen Mitte 1994 wieder Auftrieb, als die im Konkurs befindliche Deckel/Maho AG Übernahmeangebote von der Traub und der Gildemeister AG bekam. Hinter dem Angebot der Traub AG vermutete man das Interesse der Deutschen Bank und der Bayerischen Vereinsbank, hinter dem Angebot der Gildemeister AG das Interesse der Westdeutschen Landesbank, die mittlerweile zum Hauptkreditgeber für den Konzern geworden ist.

Mitte des Jahres 1994 ließ sich eine deutlich verbesserte Auftragslage im deutschen Maschinenbau konstatieren. Die Aufträge aus der Europäischen Union lagen zwischen Januar und August 1994 um 21 Prozent höher als in der gleichen Vorjahrsperiode. (FAZ vom 30.9.1994) Gründe für die verbesserte Situation sind aber nicht nur in der allgemeinen konjunkturellen Entwicklung zu sehen, sondern in der allgemein verbesserten Wettbewerbsfähigkeit der Maschinenbauindustrie: "*Die Branche hat sich gesund geschrumpft*" titelte die FAZ am 30.9.1994 und führte dazu aus:

> "*Der deutsche Maschinenbau profitiert nicht nur von der steigenden Nachfrage nach Investitionsgütern im Zuge der allgemeinen Konjunkturerholung, sondern auch von einer verbesserten Wettbewerbssituation. So haben in den vergangenen zwei Jahren viele Unternehmen innerbetriebliche Verantwortlichkeiten neu verteilt, überflüssige Hierarchien und Personal abgebaut und sich besser auf die Wünsche der Kunden eingestellt. Einzelne Maschinenteile werden*

zunehmend aus Niedriglohnländer bezogen. Viele Maschinen sind einfacher konzipiert und können ohne großen Aufwand für verschiedene Aufgaben umgerüstet werden." (FAZ vom 30.9.1994)

Die zusammenfassende Einschätzung verweist darauf, daß nicht nur unmittelbar ökonomische Veränderungsprozesse eingeleitet, sondern darüber hinaus auch neue technologiestrategische Optionen und neue Organisationskonzepte in den Unternehmen des Werkzeugmaschinenbaus - bislang erfolgreich - eingeführt wurden. Um diese zu qualifizieren, ist es sinnvoll - wie schon herausgestellt -, zwischen den Wettbewerbsbedingungen und den technologiestrategischen Konzepten der Serienfertiger und der Sondermaschinenbauer zu differenzieren. Die seit dem Krisenjahr 1992 verstärkt durchgeführten Restrukturierungsmaßnahmen der Werkzeugmaschinenbau-Unternehmen unterscheiden sich dementsprechend in ihren technologischen, marktstrategischen und organisationalen Veränderungsprozessen. Auch die öffentliche Debatte über Zukunftskonzepte des deutschen Werkzeugmaschinenbaus ist an der Unterscheidung von Serien- und Sondermaschinen orientiert. In der aktuellen Debatte um die Entwicklungsmöglichkeiten der Branche stehen sich zwei Positionen gegenüber:

- Die eine Position setzt auf Volumenmärkte, d.h. präferiert Märkte für Standardmaschinen (in modularer Bauweise), da hier die größten Bedarfe und Absatzmärkte vorlägen (*Multi-purpose*-Maschinen, vgl. auch Häusler 1990). In diesem Segment operieren auch schon die größeren WZMB-Unternehmen. Vermutet wird, daß diese am ehesten die hohen FuE-Aufwendungen erbringen. Weitere Konzentrationen bzw. strategische Allianzen sollen die notwendigen Kapitalmaßnahmen und Synergieeffekte erbringen.
- Die andere Position - u.a. vertreten durch das Münchner IFO-Institut -setzt auf die traditionelle Stärke des deutschen WZMBs - maßgeschneiderte Lösungen für spezielle Anwenderbedürfnisse zu erzeugen - und auf stützende Einflüsse des konjunkturell weniger betroffenen Sondermaschinenbaus.

Die beiden Positionen verdeutlichen das Dilemma des deutschen Werkzeugmaschinenbaus, sich einerseits als Sondermaschinenbau mit starkem Kundenbezug bewährt, andererseits aber auf Dauer Volumenmärkte vernachlässigt zu haben, die nun verlorenzugehen drohen. Allerdings scheint sich gegenwärtig über die technologiestrategischen Entscheidungen der Unternehmen eine mittlere Position durchzusetzen. Der marktsegmentspezifische Sondermaschinenbau verstärkt seine Anstrengungen der Hinwendung

zum Weltmarkt (Internationalisierung). Das Serienmaschinenmarktsegment bietet mit modifizierten technischen Leistungscharakteristika, wie hohen Antriebsleistungen und hoher Positioniergenauigkeit, eine Quasi-Sondermaschine im Sinne einer Auf- und Umrüstung von Serienmaschinen marktweit an. Diese Strategie unterteilt sich wiederum in zwei Bereiche:

- die technisch aufgewertete Standardmaschine (*up grading*). Hier ist eine industrieweite Orientierung vorherrschend, gleichzeitig wird auf Preisdegression gesetzt.
- die klassische Standardmaschine. Dabei handelt es sich um eine *Low-cost*-Technik, sie wird verstärkt in Entwicklungs- und Schwellenländern angeboten. In diesem Segment herrscht extremer Preisdruck. (Vgl. Expertengespräch VDW)

Jenseits der technologiestrategischen Konzepte experimentieren viele deutsche Werkzeugmaschinen-Hersteller seit der Krise mit neuen Organisationskonzepten, die auf eine Restrukturierung der Fertigung und Montage, Konstruktion und Entwicklung, Fremd- und Eigenfertigung und eine diese Bereichsveränderungen koordinierende und integrierende Innovations- und Produktionsplanung abzielen. Obwohl der deutsche Werkzeugmaschinenbau nie eine klassische Domäne des Taylorismus darstellte, werden im Anschluß an die Debatten zur *schlanken Produktion*[25] neue (postfordistische) Organisationskonzepte diskutiert. Die wichtigsten Punkte betreffen den Abbau von Fertigungstiefe, die Verflachung von Hierarchien, die Verkürzung der Entwicklungs- und Montagezeiten, die Einführung von Gruppenarbeit und die Sicherung innovationsrelevanter Informationen.

3.7 Zusammenfassung

Viele der hier herausgestellten Indikatoren der Branchenanalyse des Werkzeugmaschinenbaus zeigen, daß kleinbetriebliche Strukturen, hohe Innovationsraten, eine differenzierte Qualitätsproduktion und eine hohe Bedeutung der Facharbeit bislang Garanten für Prosperität waren. Piore, Sabel (1989) verbanden diese und weitere Dimensionen zu dem Konzept der *flexiblen Spezialisierung* und bezeichneten insbesondere den baden-württembergischen Maschinenbau als ein Paradebeispiel für dieses Konzept. Infolge der

---

25 Diese Debatte wurde insbesondere durch die Studie von Womack u.a. 1990 ausgelöst.

Krise zwischen 1991 und 1994 werden jedoch Zweifel am *Modell Baden-Württemberg* angemeldet. (Vgl. Kerst, Steffensen 1995) Unabhängig von dieser Debatte, die ja neben der Frage der Innovativität auch Fragen der Fertigungsorganisation, Produktionsprozesse und tarifpolitischen Einbindung thematisiert, soll hier für die empirische Analyse festgehalten werden: Der deutsche Werkzeugmaschinenbau zeichnet sich weiterhin durch eine anhaltend hohe Innovativität aus, die zumeist in kleineren und mittleren Unternehmen erbracht wird. Die Produktpalette hat ihren Schwerpunkt in maßgeschneiderten Lösungen, die entweder als Unikate oder in kleineren Serien entwickelt werden, wobei der wertmäßige Anteil der Mikroelektronik ständig gestiegen ist und aktuell mehr als 50% des Preises ausmacht. Die großbetriebliche Organisation einer Serienfertigung ist seltener, gleichzeitig stehen die auf dem Weltmarkt operierenden Volumenfertiger unter starkem Preisdruck. Die regionalen Schwerpunkte bilden Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg.

4. Hypothesen und Forschungsfragen

Die Innovationsfallstudien, die dieser Arbeit zugrunde liegen[26] wurden in einer Zeit zunehmender Verunsicherungen der Unternehmen hinsichtlich der Marktveränderungen, der zunehmenden technologischen Komplexität der Produkte und der (Re-)Organisation der Innovationsprozesse durchgeführt. Gefragt wurde deshalb nicht nur nach der gegenwärtigen Organisation der Innovationsprozesse, sondern auch nach den institutionellen bzw. organisationalen Antworten der Unternehmen auf die wahrgenommenen Unsicherheiten und den *experimentellen Praktiken*, mit denen der technologische und wirtschaftliche Erfolg gesichert werden sollte. Da Krisen immer auch Zeiten der Chancen und des Neuanfangs sind, bot sich eine gute Gelegenheit, sowohl Beharrungsvermögen als auch Veränderungsbereitschaft innerhalb der innovierenden Unternehmen zu studieren.

Als ein zentraler Begriff für die organisationale Bearbeitung von Unsicherheit kann der Begriff des Lernens gelten. (Vgl. Rosenberg 1982; Stiglitz 1987; Hippel, Tyre 1995) Lernen ist sowohl personal als auch organisational zu verstehen, denn einerseits müssen Organisationen bei hoher Marktturbulenz und technologischer Optionsvielfalt

---

26 Vgl. Asdonk, Herbold, Kowol 1995.

lernen, flexibel auf Unsicherheiten zu reagieren, andererseits bedarf ein erfolgreiches Innovationsmanagement der Bereitschaft der Akteure aus den unterschiedlichen Funktionsbereichen, Wissen auszutauschen und kontinuierlich neues Wissen aufzubauen.[27] Deshalb wurde den Kommunikations- und Kooperationsprozessen von Ingenieuren und Facharbeitern einerseits, von Herstellern und Verwendern andererseits ein hoher Stellenwert eingeräumt. Den tentativen Bemühungen der Unternehmen um eine Reorganisation der betrieblichen und zwischenbetrieblichen Innovationsprozesse stehen aber mangelnde Erfahrungen mit den Restrukturierungsprozessen sowie wirtschaftliche Schwierigkeiten und Technologieunsicherheiten gegenüber. Dies deutet darauf hin, daß das Lernen permanent gelernt werden muß, auch und gerade, um inadäquates Lernen auf der Basis vergangenen Erfolgs mit dem Ziel zu reflektieren, frühzeitig und sensibel zukünftige neue Pfade zu entwickeln. Einige Schlüsselfaktoren für organisationales Lernen im Innovationsprozeß liegen in der Abstimmung der unterschiedlichen Praktiken von Kaufleuten, Technikern und Facharbeitern, in einer lernoffenen Unternehmenskultur, aber auch in den Entscheidungs-, Informations- und Kommunikationsstrukturen.[28] Darüber hinaus ist die zwischenbetriebliche Struktur für das Organisationslernen bedeutsam, denn hiervon sind unter anderen die Intensität der Rückkopplungen und Synergien abhängig, die die internen Lerneffekte konditionieren. Die Emergenz dieser zwischenbetrieblichen Kooperationsstrukturen wird mit dem Begriff *Innovationsnetzwerke* gefaßt.[29]

Die hier vorgelegte Untersuchung greift das Material in neuer Form auf. Nicht die systematische Auswertung aller relevanten Gesichtspunkte, die in den Innovationsfallstudien erhoben wurden, wird hier verfolgt, vielmehr wird entsprechend dem entwickelten theoretischen Modell insbesondere drei Fragen nachgegangen.

Erstens wird gezeigt, wie der rekursive Prozeß der Entwicklung einer techni-

---

27 Siehe dazu die auch die Unterscheidung zwischen einer lernenden und einer autoritativen Organisation bei Peter M. Senge (1990), der es als Essenz einer lernenden Organisation ansieht, daß diese ein Verständnis für rückgekoppelte, zirkuläre Prozesse gewinnt. Die Frage danach, welche Lernmechanismen eine Organisation entwickelt, um sich selbst erfolgreich zu irritieren, kann als eine der Hauptfragen der aktuellen Managementdebatte aber auch der Organisationssoziologie bezeichnet werden. (Vgl. auch Baecker 1994)

28 Erste detaillierte Analysen der Innovationsfallstudien finden sich in Asdonk, Herbold, Kowol 1995; 1996.

29 Vgl. dazu Kapitel V.

schen *Eigenlösung* verläuft, welche Variablen von den Akteuren als relevant angesehen werden, wie Fixationen entstehen, wie *dynamische Abhängigkeiten* den weiteren Verlauf der Technisierung prägen und sukzessive zu einer kontextspezifischen Lösung führen. Während es in diesem Teil der empirischen Analyse um die Plausibilisierung des theoretischen Konzepts geht, wird im zweiten Teil eine andere Darstellungsform benutzt. Hier wird in einer systematischen Weise der Stellenwert der empirisch-praktischen (Innovations-)Arbeit herausgestellt und die Rekursivität technischer Innovation aus der Perspektive der zirkulären Kopplung von theoretisch-konstruktiver und empirisch-praktischer Arbeitstätigkeit nachgezeichnet. Der dritte Teil der empirischen Analyse wählt wiederum ein anderes Darstellungsverfahren. Hier werden im wesentlichen die strukturellen Aspekte der überbetrieblichen Kooperation zwischen Technikherstellern und -verwendern aufgezeigt, wozu bewußt selektiv auf das gesamte Material zurückgegriffen wird. Die Absicht dieses empirischen Teils ist es, relevante Aspekte der Konzeption der *Innovationsnetzwerke* zu identifizieren, die im letzten Teil dieser Arbeit modelltheoretisch entwickelt werden soll.

4.1 Rekursive Technikentwicklung

Wie in den ersten beiden Kapitel herausgearbeitet wurde, sind moderne technische Innovationen selten ein Ergebnis einzelbetrieblicher Erfindungs- und Vermarktungsstrategien, die auf festgestellte Bedarfslagen reagieren, noch folgen sie dem Bild einer passiven Umsetzung wissenschaftlichen Wissens in marktreife Produkte. Gegenüber diesen vereinfachenden Sichtweisen entwirft die moderne Innovationsforschung ein sehr viel differenzierteres Bild des Innovationsprozesses. Anstelle des Konzepts vollständiger Marktübersicht treten die Begriffe *Unsicherheit* und *Intransparenz*. Als konditional beim *Problem solving* werden Pfadabhängigkeiten (*Trajektorien*) angenommen, die zu *Lock in-Effekten* führen und einen Wechsel innerhalb der technologischen Trajektorie mit erheblichen Transaktionskosten belasten können. *Interne Lerneffekte* weisen auf positive Rückkopplungen und Synergien hin, die die organisationale Kontingenz gegenüber einem auf Organisation und Technik bezogenen *one best way-Denken* betonen.

Derartige Rückkopplungen, wechselseitige Lernprozesse und *dynamische Abhängigkeiten* zwischen der Technikentwicklung und -verwendung wurden konzeptionell als *rekursiver Prozeß* herausgearbeitet, die erzeugte Technik wurde als eine *Eigenlösung*

heterogener, kollektiver und individueller Akteure bezeichnet. (Vgl. Kap. II) Der Begriff der rekursiven Technikentwicklung bezieht sich auf einen Prozeß, in dem sich Entwicklung und Verwendung neuer Technik wechselseitig vorantreiben, so daß nicht mehr strikt zwischen Ursachen und Wirkungen technischer Entwicklungen unterschieden werden kann, wie es beispielsweise klassische Innovationstheorien nahelegten.[30] Die Verwendung ist nicht Endpunkt der Technik- bzw. Produktentwicklung; vielmehr wird betriebliches Erfahrungswissen im Umgang mit einer neuen Technik zum Ausgangspunkt der Weiterentwicklung dieser Technik. Eine *Eigenlösung* für einen Verwendungskontext entsteht, wenn es heterogenen kollektiven Akteuren (Unternehmen) gelingt, die '*richtigen*' Abhängigkeiten zwischen auszuhandelnden Variablen (Kosten, Leistungsmerkmale, Funktionen, Grad der Vernetzung etc.) zu finden. Sofern der dynamische Prozeß nicht unterbrochen wird, etwa durch radikale Änderung der Anfangsbedingungen, entsteht über die fortlaufende Rekursion eine emergente technische Lösung, die in einem Verwendungskontext stabile Prozesse bewirkt.

Im ersten Teil der empirischen Arbeit wird also der Erwartung nachgegangen, daß Technikhersteller und Technikverwender in einem rekursiven Prozeß eine *Eigenlösung* (Technik) erzeugen. Vermutet wird, daß in Aushandlungsprozessen die als relevant erachteten Variablen einer Aufgabenstellung von den kooperierenden Akteuren fixiert werden, daß dabei lokale bzw. kontextspezifische Selektionen vorgenommen werden und daß im weiteren Innovationsprozeß temporalisierte Fixationen (Pflichtenheft, Modellerstellung, Prototyp) zu einer *Eigenlösung* führen.

4.2 Die Rolle der Praxis: Innovationsarbeit und die Bedeutung der Facharbeit

In der traditionellen ökonomischen Sichtweise der Innovation wird die Verfügbarkeit von Wissen innerhalb eines Marktmodells beschrieben. *Technologie* wird als ein öffentliches, frei verfügbares Gut angesehen. Gegen die neoklassische Sichtweise von Technologie stellt die moderne innovationsökonomische Forschung ein anderes Bild: Technologie wird hier, dem Konzept einer frei verfügbaren Ressource widersprechend, als ein Gut mit spezifischen Eigenschaften analysiert und in die Dimensionen *öffentlich* und *privat* bzw. *lokal* dekomponiert. Dieser Punkt ist für die empirische Analyse relevant:

---

30 Vgl. Schmookler 1966, Schumpeter 1912, Mensch 1971 und 1975. Zur Kritik siehe Bredeweg, Kowol, Krohn 1994.

Der Werkzeugmaschinenbau läßt sich als eine intermediäre Branche kennzeichnen, die im wesentlichen erfahrungsbasiert, inkremental und zumeist in enger Kooperation mit den Verwendern permanente Innovativität unter Beweis stellt. Im Zusammenhang enger Hersteller-Anwender-Interaktionen entsteht ein spezifisches Verfahrens- und Produktwissen, das nicht allgemein zugänglich ist, selten hinreichend genau imitiert werden kann und deshalb auch häufig nicht patentiert wird, aber den Unternehmen *interne Skaleneffekte* erbringt: ein lokales Wissen, das über Lernprozesse permanent weiterentwickelt wird. Zukünftiger Erfolg baut auf vergangenem auf, der betriebliche Innovationsprozeß basiert auf kumulativen Lerneffekten. Skaleneffekte entstehen u.a. durch *Learning by doing* und *Learning by using*. (Rosenberg 1982) Daß damit Risiken verbunden sind, zeigt sich spätestens dann, wenn aufgrund nachlassender Marktnachfrage oder technologisch attraktiver Alternativen beim Verlassen bestimmter Pfade *Switching costs* entstehen. Diese Risiken abpuffern zu wollen bedeutet, eine weiterreichende Strategie zu entwickeln: Durch *Learning by learning* (Stiglitz 1987) werden auch Anpassungen an derartige Entwicklungen möglich. (Asdonk, Bredeweg, Kowol 1994)

Vermutet wird nun, daß im Rahmen der Vernetzung und der Verstetigung von Hersteller-Verwender-Beziehungen die Bedeutung der Facharbeit für den Innovationserfolg wächst und damit Innovationen als ein Ergebnis des Zusammenwirkens unterschiedlicher Akteure (Ingenieure, Facharbeiter, Systementwickler usw.) und des Ineinandergreifens von theoretisch-abstraktem Konstruktions- und empirisch-praktischem Erfahrungswissens sind. Ereignisse und Vorgänge, die in der Entwicklung, Konstruktion und Verwendung technischer Artefakte nicht vorausgesehen worden sind oder nicht vorausgesehen werden können, die sich im Produktionsprozeß als Abweichungen (*Irritationen*) zeigen, sind *Störungen*, die durch Lernprozesse bearbeitet werden können.[31] Die Regulation von Störungen wie das Optimieren von Produkten und Prozessen können als wichtige Tätigkeitsanforderungen von Facharbeitern im Innovationsprozeß qualifiziert werden. Prozeßoptimierung und Störungsregulation lassen sich - von ihrer technischen Seite her - als Defizite technischer Artefakte beschreiben. Ihre Wahrnehmung, Beschreibung, Regulation und Transformation in Vorschläge für Produkt- und Prozeßinnovationen kann dementsprechend als *Innovationsarbeit* bezeichnet werden.

---

[31] Begreift man Innovation als sozialen Prozeß, so kann *Optimierung* sich sowohl auf die technischen Parameter von Maschinen, Anlagen und Verfahren als auch auf die Produktionskonzepte, die Arbeitsorganisation und die Qualifikation der beteiligten Akteure beziehen. Keinesfalls ist gemeint, daß *Lücken* allein durch technische Mittel zu schließen sind.

4.3 Innovationsnetzwerke

Die Hypothese zur *rekursiven Technikentwicklung* läßt die Frage nach der sozialen Struktur, gegebenenfalls den unterschiedlichen Strukturen dieser Rekursion offen. So sind bei der *partiellen Einheit von Entwicklung und Anwendung* neuer Maschinen in Unternehmen des Werkzeugmaschinenbaus andere Strukturen der Rekursion zu erwarten, als bei der Entwicklung von kundenspezifischen Lösungen im Sondermaschinenbau oder von Serienmaschinen für einen anonymen Markt. Aber auch aus den unterschiedlichen Verwendungskontexten könnten sich Differenzierungen ergeben, denn die großbetriebliche Organisation der Prozeßinnovation weicht in deutlicher Form von der kleinbetrieblichen Organisation der Prozeßinnovation ab. Beide beinhalten unterschiedliche Strukturen der Generierung und des Transfers technischer Parameter und Produkte.

Gerade in den Bereichen sogenannter *Neuer Techniken*, in denen traditionelle Linien der Technikentwicklung mit neuen Entwicklungen der Steuerungs-, Kommunikations- und Informationstechnik verknüpft werden, sind häufig sehr heterogene Akteure mit unterschiedlichen Interessen, Ressourcen und Einflußmöglichkeiten in Entwicklung, Herstellung, Verwendung und Regulierung involviert. Hier sind, so zeigen bisherige Untersuchungen, Innovationsprozesse zunehmend betriebsübergreifend organisiert und können als Netzwerke analysiert werden.

Die Einführung des Netzwerkkonzepts zielt darauf, einen analytischen Begriff für die vermuteten Rekursionsprozesse zwischen Technikherstellern, Nutzern und regulierenden bzw. kontextbildenden Institutionen im Innovationsprozeß einzuführen. Als Ausgangspunkt dient hier die Annahme eines doppelten Unsicherheitsproblems zwischen den Herstellern und Nutzern von Technik. Als Basisproblem besteht für beide zunächst ein Informationsdefizit. Zum einen besteht für den Technikhersteller eine technologische Unsicherheit hinsichtlich der sachlichen Machbarkeit und Funktionsfähigkeit eines neuen Produkts. Zum andern ist der Markt intransparent, unter anderem deshalb, weil dessen Entwicklung von neuen Produkten abhängt. Für den Verwender besteht das Informationsproblem darin, welcher Technikhersteller für die kontextspezifischen Anforderungen das sachlich geeigneteste Produkt zu einem sich amortisierenden Preis besitzt. Je komplexer und weitreichender das Innovationsvorhaben, desto höher

die Marktintransparenz und die technologische Unsicherheit. Das gemeinsame Interesse der Akteure ist daher auf eine Reduktion von Unsicherheit gerichtet, die durch zusätzliche Informationen über Markt und Technik nicht erreicht werden kann.

Der Mechanismus, über den diese Reduktion von Unsicherheit angestrebt wird - das wurde weiter oben beschrieben -, ist die rekursive Koppelung zwischen heterogenen Akteuren. Die Erwartung ist nun, daß die rekursive Koppelung zwischen heterogenen Akteuren durch den Aufbau von Vertrauensbeziehungen (*trust relations*) erfolgt, die durch wechselseitige Erfahrungen und gegenseitigen *Know-how*-Transfer über längere Zeiträume und wechselnde Situationen allmählich stabilisiert werden können, aber auch leicht durch Enttäuschungen gefährdet sind. Die Bedingung für den Aufbau von Vertrauensbeziehungen ist das reziproke Bereitstellen von Ressourcen.[32] Reziprozität besteht aber nicht nur in der sachlichen Ergänzung (ein Akteur trägt das für andere wichtige Wissen bei, sofern diese das für ihn wichtige Wissen bereitstellen), sondern auch in der Bereitschaft zur wechselseitigen Perspektivenübernahme.

Ein zentraler Arbeitsschritt für die im letzten Teil der Arbeit zu entwickelnde Konzeption der *Innovationsnetzwerke* besteht in der analytischen Durchdringung empirisch vorfindbarer Netzwerkstrukturen. Das vorliegende Material wird daher nach folgenden Fragestellungen ausgewertet:

- Wie wird die Reduktion von Unsicherheit und Marktintransparenz abgearbeitet, d.h. welche (netzwerkartigen) Strukturen entstehen beim *Management von Unsicherheit*?
- Welche Akteure (Verkäufer, Techniker, Informatiker, Facharbeiter u.a.) sind beteiligt und wie werden heterogene Interessen abgeglichen (Fachkompetenz, Anweisungsprinzip, Konsens, etc.)?
- Welche Optionen werden wie ausgeschieden, welche weiterverfolgt, welche Diskursformen werden bevorzugt und welche Rolle spielt die technologische und die Marktunsicherheit dabei?
- Wie verändern sich Formen des Innovationsmanagements für den Technikherstel-

---

32 Nach Powell (1990) wird Reziprozität in diversen Disziplinen mit unterschiedlichen Konnotationen benutzt. Spieltheorien in den politischen Wissenschaften und in der Ökonomie assoziieren mit diesem Begriff Äquivalenz (z.B. Axelrod 1984), anthropologische Ansätze fassen Reziprozität eher in der Sprache gegenseitiger Dankbarbeit oder Verpflichtung (z.B. Sahlins 1972) und den unterliegenden kulturellen Formen des Austausches. In den Sozialwissenschaften gilt für Reziprozität darüber hinaus vor allem die Annahme einer längerfristigen Beziehung.

ler, wenn zukünftige Nutzer eine deutlich aktivere Rolle schon bei der Prototypentwicklung erhalten?

- Welche Rolle spielen Verträge, *Know-how*-Schutz und vertrauensbasierte Kooperation in Innovationsnetzwerken?

5. Design und Erhebungstechniken der empirischen Untersuchung

Die empirischen Erhebungen zu den durchgeführten Innovationsfallstudien erfolgten zwischen 1991 und 1993. Da in einigen Fällen mehrere Technikverwender untersucht wurden, fanden die Fallstudien in insgesamt 16 Unternehmen statt, davon in 10 technikverwendenden Unternehmen. Zusätzlich wurden in ca. 20 weiteren Unternehmen der Werkzeugmaschinenbauindustrie Expertengespräche mit Ingenieuren, Technikern und Verkaufsleitern durchgeführt. Einen wichtigen Schritt zur Verallgemeinerungsfähigkeit der anvisierten Ergebnisse sahen wir in der qualifizierten Auswahl der Untersuchungsbetriebe. Dazu griffen wir auf einen bereits empirisch erprobten Untersuchungsansatz (Zörgiebel 1983) zurück und modifizierten ihn für unsere Zwecke.

Zörgiebel (1983) bezieht sich in seinen Überlegungen auf Ansoff, Stewart (1967) und Maidique, Patch (1980). Ansoff, Stewart unterscheiden vier typische Strategien technologieorientierter Unternehmen, in denen verschiedene Parameter technologischer Entscheidungsfindung integriert sind. Diese sind die *First to Market-*, *Follow the Leader-*, *Application Engineering-* und *Me too*-Strategie. Im Gegensatz zu Ansoff, Stewart (1967) gewichten Maidique, Patch (1980) stärker die Wettbewerbsparameter der Unternehmen. Dementsprechend unterscheiden sie zwischen *First to Market-*, *Second to Market-*, *Late to Market-* und Marktsegmentierungsstrategien. Da die genannten Typen sowohl technologiestrategische als auch marktstrategische Parameter enthalten und - in diesem Sinne - die dem Forschungsinteresse impliziten Merkmale aufwiesen, haben wir unsere Fallstudien hierauf bezogen. Die Kombination dieser Merkmale führte uns zu folgenden Differenzierungen: Wir unterschieden zunächst im Bereich der Serienfertigung Unternehmen mit einer industrieweiten Marktorientierung hinsichtlich der technologischen Anforderungen. Diese differenzierten wir in avancierte (*high-tech*-Produkte) und weniger avancierte Technik (*low-cost*-Produkte); weiterhin unterschieden wir die Unikatfertiger in segmentspezifische Führer wenig avancierter Technik

und segmentspezifische technologische Führer mit avancierter Technik.[33] Die Berücksichtigung von Großbetrieben und kleineren und mittleren Unternehmen war durch die Festlegung der Technikprogramme quasi vorgegeben. Serienfertigung findet typischerweise in größeren Betrieben statt, da hier *economies of scale* hochgradig relevant sind; kleinere und mittlere Serien sowie Unikatproduktion korrespondieren mit einer entsprechenden Betriebsgröße (kleinere oder mittlere Unternehmen). Dies führte zu folgenden Typen technologieorientierter Wettbewerbsstrategien:

Während der Typ 1 (*Kostenführungstrategie bei Universalmaschinen*) u.a. gekennzeichnet ist durch

- den Vorrang von Ökonomisierungszielen gegenüber Flexibilisierungszielen (*economies of scale*) und einer industrieweiten Marktorientierung,
- einem Anwendertypus (mittelständische Industrie), der industrieweit zu verorten ist und relativ geringe Losgrößen produziert,
- Produkte, die hochgradig standardisiert, aber in ihrer Verwendungsdimension breit angelegt sind,
- eine breite technologische *Know-how*-Basis bei bekannten Technologien und einem geringen FuE-Aufwand,
- einem späten Markteinstieg mit wenig avancierter Technik,

läßt sich Typ 2 (*Spezialisierung bei Unikaten*) durch

- die Vorrangigkeit von Ökonomisierungs- gegenüber nachgeordneten Flexibilisierungszielen,
- eine marktsegmentspezifische Orientierung mit typischen Anwendern im Bereich von großserieller Produktion und auftragsbezogener Kooperation,
  eine Technik, die in ihrer Verwendungsdimension hochgradig spezialisiert ist für genau definierte Verwendungsbedürfnisse,
- eine enge technologische *Know-how*-Basis bei bekannten technologischen Verfahren für eine wenig avancierte Technik und
- einen niedrigen FuE-Aufwand charakterisieren.

Typ 3 (*Technologieführung bei Universalmaschinen*) beinhaltet demgegenüber

---

33 Die branchenbezogene Differenzierung in Serienfertigung und in Unikatproduzenten findet sich bis in neueste Veröffentlichungen hinein. So sprechen Schumann u.a. (1994) von Einzelfertigern und Programmfertigern, denen sie jeweils unterschiedliche Markt- und Produktpolitiken, Problemlagen und Rationalisierungskonzepte zuordnen. (386f.)

- den Versuch der Versöhnung von Flexibilisierungs- und Ökonomisierungszielen,
- eine industrieweite Orientierung (*global player*) mit breit gestreuten Anwenderkontakten vor allem im Bereich der mittelständischen Industrie (langjährige Kontakte werden für Pilotanwendungen genutzt),
- eine flexible Technik zur Produktion mittlerer und kleinerer Losgrößen,
- eine relativ breite technologische *Know-how*-Basis auf dem neuesten Stand der Technik und einem hohen FuE-Aufwand,
- eine starke FuE-Orientierung für spezialisierte Verwendungsbereiche.

Typ 4 (*Technologieführerschaft bei Unikaten*) umfaßt

- die Gleichrangigkeit von Kosten- und Flexibilisierungszielen, typische Anwender finden sich (wie im Typ 2) in der Massenproduktion, die Kooperation erfolgt auftragsabhängig und ist marktsegmentspezifisch orientiert,
- die Technik ist auf einem sehr verwendungsspezifischen Zweck hin ausgerichtet, durch den Einbau von flexiblen Komponenten (Steuerungen) wird versucht, Flexibilisierungspotentiale für schnelle Umstellungsmaßnahmen zu integrieren,
- eine relativ enge technologische *Know-how*-Basis geht einher mit einer starken FuE-Orientierung auf spezialisierte Verwendungsbereiche und einem hohen FuE-Aufwand.

Auf der Seite der Technikverwender wurden Unternehmen aus der Automobilindustrie und dem Maschinenbau - neben der Flugzeugindustrie sind dies die wichtigsten Technikverwenderindustrien des Werkzeugmaschinenbaus - ausgewählt. Während innerhalb der Automobilindustrie ausschließlich Großbetriebe im Sample vertreten sind, wurden für die ausgewählten Betriebe des allgemeinen Maschinenbaus sowohl Großbetriebe als auch kleinere und mittlere Unternehmen zur Mitarbeit gewonnen.

Entsprechend der Bedeutung der Dreh- und Fräsbearbeitung in der Werkzeugmaschinenbauindustrie - aber auch für die genannten Verwenderindustrien - lag der Schwerpunkt der Erhebungen in Unternehmen mit diesen Bearbeitungsprogrammen. Ein Auswahlkriterium war hier die Reichweite der angestrebten Innovation (Detailverbesserung versus konzeptioneller Neuentwurf). Eine Innovationsfallstudie wurde im Segment der Zahnradbearbeitung durchgeführt. Aufgrund der komplexen technologischen Anforderungen der Zahnradbearbeitung (hohe Genauigkeits- und Qualitätsanforderungen) stellt das untersuchte Unternehmen einen speziellen Innovationstypus

dar, der in einem hohen Maße auf theoretisch-wissenschaftliches Wissen angewiesen ist. Insofern liefert diese Innovationsfallstudie wichtige Kontrollaspekte innerhalb der Gesamtuntersuchung.

Der Auswahl der Unternehmen lag die regionale Verteilung der Betriebe zugrunde: Da mehr als 50% aller Werkzeugmaschinenhersteller ihren Sitz entweder in Nordrhein-Westfalen oder in Baden-Württemberg haben, konzentrierten wir die Auswahl auf diese beiden Bundesländer.[34]

Die Anlage der Studien folgte - wie bereits herausgestellt - der Grundüberlegung, daß Innovationen in zwischenbetrieblich organisierten Prozessen stattfinden, die die technischen Möglichkeiten der Hersteller und die Nachfragen der Verwender nach Lösungen zur Deckung bringen. Daher haben wir in sechs Hersteller- und zehn Verwenderunternehmen qualitative Leitfadeninterviews durchgeführt, um die innerbetrieblichen und zwischenbetrieblichen Innovationsbedingungen zu ermitteln. Die tiefgreifende - konjunkturelle und strukturelle - Krise während des Untersuchungszeitraumes, die zum Konkurs einer Reihe von Herstellerunternehmen und zu zahlreichen Entlassungen innerhalb der Branche geführt hat, erwies sich überraschenderweise nicht als ein wesentliches Hindernis, Zugang zu den Betrieben zu finden. Eher das Gegenteil war der Fall: Die von der Krise angestoßenen Überlegungen und Maßnahmen zur Reorganisation und *Verschlankung* der Betriebe lenkte die Aufmerksamkeit auch dort auf die bis dahin kaum explizit formulierte Frage, welche betrieblichen Gruppen als Träger innovativen Handelns fungieren. Insofern trafen wir in einer für uns zentralen Forschungsfrage auf einen Grad an Neugier, Interesse und Reflexion, der unsere Arbeit wesentlich erleichterte - und erzeugten zugleich weiteres Nachdenken über die Probleme der betrieblichen Innovationsorganisation. Unsere Zusage, die Ergebnisse der Erhebungen aufzubereiten und zur Verfügung zu stellen, die ursprünglich als '*Eintrittbillett*' gedacht war, wurde vor diesem Hintergrund zu einem Stimulans des innerbetrieblichen Diskussionsprozesses.

Im Rahmen der empirischen Untersuchung wurden ca. 140 Leitfadeninterviews, Gruppendiskussionen und themenzentrierte Expertengespräche über die je spezifischen betrieblichen und zwischenbetrieblichen Innovationsprozesse und -strukturen durch-

---

[34] Eine Innovationsfallstudie wurde in Sachsen begonnen, mußte aber aufgrund der speziellen Bedingungen vor Ort sowie forschungspraktischer Gesichtspunkte (geringe Vergleichbarkeit) abgebrochen werden.

geführt. Zur Strukturierung der Gespräche wurden Leitfäden entwickelt, die auf das Management, die Techniker/Konstrukteure, Verkäufer/Einkäufer und die Facharbeiter und Betriebsräte zugeschnitten waren. Im Zeitraum von Oktober 1991 bis Oktober 1993 wurden die Interviews und Gruppendiskussionen bei sechs Herstellerunternehmen des Werkzeugmaschinenbaus und zehn Anwenderunternehmen durchgeführt.

Im einzelnen wurden Gespräche mit Mitarbeitern aus den Geschäftsleitungen, Konstruktions- und Entwicklungsabteilungen, aus Vertriebs- und Offertenabteilungen, aus der Arbeitsvorbereitung und aus verschiedenen Werkstattbereichen, insbesondere der Fertigung, der mechanischen und der Elektromontage, dem Prototypenbau und aus der Instandhaltung geführt. Weiterhin fanden Gespräche mit Betriebsräten statt. Die Interviews hatten im Durchschnitt eine Länge von ca. zwei Stunden (Gruppendiskussionen dauerten bis zu fünf Stunden) und fanden in den Betrieben der Gesprächspartner statt. Die Tonbandaufzeichnungen wurden transkribiert, die Transkripte systematisch qualitativ ausgewertet.

Das qualitative Verfahren hat einerseits den Vorteil einer erheblich größeren Erhebungstiefe gegenüber standardisierten Verfahren, zwingt andererseits aber zu gewissen Abstrichen bezüglich der Generalisierbarkeit der Ergebnisse. Doch gerade die Darstellung typischer Problemkonstellationen kann auch als Vorteil unseres Verfahrens gegenüber formal-statistischen Verfahren angesehen werden.

Die durchgeführte Untersuchung war sequentiell angelegt. In einem zweiphasigen Verfahren wurden die entwickelten Hypothesen in einem teils parallelen, teils zeitversetzten empirischen und theoretischen Vorgehen konkretisiert und modifiziert.

In einem ersten Schritt haben wir in den Herstellerunternehmen - immer mit dem Blick auf neue Technik - Mitglieder der Geschäftsleitung, Techniker, Mitarbeiter aus den Bereichen Fertigung, Montage, Service, Einkauf und Verkauf und Betriebsräte, also Akteure aus unterschiedlichen Statusgruppen, befragt. In einem zweiten Schritt haben wir Interviews in technikverwendenden Unternehmen durchgeführt, die im Untersuchungszeitraum die neuen Maschinen bezogen haben. Ziel war es, die Kooperations- und Kommunikationsprozesse zwischen Herstellern und Verwendern, die in den verschiedenen Phasen des Entwurfs, der Herstellung und der Implementation von Artefakten stattfinden, zu ermitteln. Dazu wurden ebenfalls Personen aus den verschiedenen Abteilungen und unterschiedlichen Statusgruppen interviewt, um von der ersten Kontaktaufnahme bis hin zur Übernahme in den Produktionsprozeß jene Abstimmungen und

Verhandlungen zu dokumentieren, durch die Innovationen Gestalt annehmen. In einem dritten Schritt - der nicht in allen Innovationsfallstudien erfolgen konnte - wurden nochmals Interviews in den Herstellerunternehmen geführt, um die Lernprozesse und die Rückkopplungen zwischen den Beteiligten, auch in der Phase des Produktionseinsatzes der Technik, zu analysieren.

Mit der Rekonstruktion des Verwendungskontextes und den wechselseitigen Anpassungen von Artefakt und Verwendungskontext in den Innovationsfallstudien haben wir eine Perspektive gewählt, die bewußt über die Grenzen eines Hersteller- oder Verwenderunternehmens hinausgreift. Die so erstellten Innovationsfallstudien (vgl. Asdonk, Herbold, Kowol 1995) verknüpfen projektbezogen den Entwurf und Bau einer Maschine bzw. Anlage im Herstellerunternehmen, die Implementation bzw. Pilotanwendung im Verwenderunternehmen und die Rückkopplung der in der Verwendung gewonnenen Erfahrungen zum Hersteller miteinander.

In Ergänzung zu den in den Interviews gewonnenen Informationen wurden Fachliteratur zum Werkzeugmaschinenbau und zur Produktionstechnik, Werbe- und Informationsmaterial der untersuchten Unternehmen sowie Veröffentlichungen des VDW bzw. des VDMA und Messebesuche ausgewertet.

Insgesamt kamen folgende Erhebungsverfahren zum Einsatz:

a. außerbetriebliche Experteninterviews bei Verbänden des Maschinenbaus (VDW) und der IG Metall. Im Vordergrund standen hier allgemeinere Trendeinschätzungen, die Diskussion über das beabsichtigte Sample und mögliche Betriebszugänge;

b. vorbereitende Informationsgespräche bei kleineren, mittleren und größeren Betrieben der Werkzeugmaschinenbaubranche, die für unterschiedliche Technologie- und Marktstrategien standen, mit dem Ziel, die Bedingungen der Möglichkeit von Intensivfallstudien zu prüfen. Hier wurden in einer ersten Auswahl knapp 30 Unternehmen - vornehmlich aus Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg - in die Untersuchung einbezogen. Für die technikverwendenden Unternehmen wurde keine regionale Schwerpunktsetzung vorgenommen. Hier galt es sowohl Großbetriebe als auch kleinere und mittlere Unternehmen aus den für den Werkzeugmaschinenbau repräsentativen Anwenderbranchen Automobilindustrie und Maschinenbau zu gewinnen;

c. Betriebsbegehungen und beobachtende Teilnahme (Konstruktionsabteilungen, Fertigungs- und Montagebereiche);

d. Leitfadeninterviews, die im wesentlichen Orientierungsfunktion für die dialogische Gesprächsform darstellten[35], mit einzelnen Akteuren aus allen Statusgruppen der Unternehmen;

e. Leitfadeninterviews mit mehreren Akteuren (2- 6) einer homogenen Statusgruppe - vornehmlich auf den unteren Hierarchieebenen der Unternehmen;

f. Leitfadeninterviews mit mehreren Akteuren (2-4) aus unterschiedlichen Statusgruppen - vornehmlich mit Technikern und Facharbeitern;

g. Präsentationen von *management summaries*, die ein wichtiges Kontrollinstrument darstellen;

h. Dokumentenanalyse von Unternehmensveröffentlichungen;

i. Besuche von Fachmessen und -konferenzen.

Zur besseren Verortung der im empirischen Teil genannten Unternehmen werden im folgenden die sechs Innovationsfallstudien kurz vorgestellt. Die Herstellerunternehmen sind mit römischen Ziffern gekennzeichnet, die jeweiligen Anwenderunternehmen sind durch einen arabischen Index direkt zugeordnet.

---

35 Dabei wurden sowohl rekonstruierende Erfahrungen als auch prospektive Erwartungen zum Gegenstand der Interviews gemacht. Insbesondere die Fragen nach den Erwartungen boten ein gutes methodisches Instrument für die Innovationsfallstudien, da in einem späteren Interview die Erwartungsbildungen wieder zum Ausgangspunkt von Nachfragen gemacht werden konnten. Der "Mix" aus *erinnerten Erfahrungen* und *vergangener Antizipation* kann als ein Filter für mögliche *ex post-Rationalisierungen* gelten, zumindest in dem Sinne, daß die Differenz zwischen Antizipation und eingetretenem Ereignis kommunikativ bearbeitet werden kann.

Abbildung 2: Kurzcharakterisierung der Technikhersteller

Betriebe	Produkte	Losgrößen	Beschäftigte	Fertigungstiefe[36]	Kundenbranchen, Technikanwender, (Innovationsfälle)
I	kleine bis große (Bett-)Fräsmaschinen	kleine Serien < 20	100	mittel	Autoindustrie (I_3), Maschinenbau (I_1, I_2, I_4)
II	reine Sondermaschinen (z.B. Transfermaschinen, FFS)	Unikate, Kleinstserien	140	mittel	Automobilindustrie, Flugzeugbau, spanende Metallverarbeitung (II_1, II_2)
III	CNC-Universal-Drehmaschinen	große Serien > 3000	2.000	niedrig	Autoindustrie, Maschinenbau, Zulieferindustrie (III_1)
IV	Mehrspindel-Drehautomaten	mittlere Serien < 400	600	mittel	Maschinenbau
V	Zahnradmaschinen	mittlere-große Serien	400	niedrig (reine Montage)	Automobilindustrie, Maschinenbau (V_1, V_2)
VI	Große Portal-Fräsmaschinen, Hochgeschwindigkeits-Fräsmaschinen	Unikate, Kleinserien	260	hoch	Flugzeugbau, Formen- und Werkzeugbau der Automobilindustrie (VI_1)

Die **Innovationsfallstudien I** beginnen im Unternehmen I, einem mittelständischen Unternehmen, das sich auf die Herstellung von Konsol- und Bettfräsmaschinen unterschiedlicher Größenordnungen spezialisiert hatte. Das Unternehmen beschäftigte 1991 einhundertzwanzig Mitarbeiter, davon je ein Viertel in den Angestelltenabteilungen und

36 Die verwendeten Kennzeichnungen bedeuten: "gering" = reiner Montagebetrieb mit vielfältigen Zulieferbeziehungen; "mittel" = Fertigungs- und Montagebetrieb/Zulieferbeziehungen zu ausgewählten Betrieben bei technologiestrategisch nicht entscheidenden Bauteilen; "hoch" = vom Gießen der Formen bis zur Prototypherstellung wird fast alles selbst gefertigt und montiert.

der mechanischen Fertigung, die andere Hälfte in dem Montagebereich. Un- oder angelernte Arbeitskräfte machen nur einen *geringen Prozentsatz* an der Gesamtbelegschaft aus; im Montagebereich arbeiten ausschließlich Facharbeiter. Hier sind die betriebsspezifischen Qualifikationsanforderungen nur in langjähriger Ausbildung und durch *learning by doing* erreichbar. Die Anforderungen im mechanischen Bereich sind demgegenüber geringer, obwohl auch hier eine Facharbeiterausbildung die Regel ist. Aufgrund der konjunkturellen (und strukturellen) Krise des WZMBs ist die Beschäftigtenzahl Ende 1993 auf siebzig Beschäftigte gesunken. Die Fertigungstiefe innerhalb des Unternehmens ist in den letzten Jahren zwar zurückgegangen, aber immer noch ein wichtiger Faktor. Gußteile (unbearbeitet), Elektronik (Steuerungen), Hydraulik und Kleinteile werden von Zuliefern aus ganz Deutschland bezogen, wobei in der Regel auf bekannte und auch von der Konkurrenz in Anspruch genommene Zulieferer zurückgegriffen wird. Alles Andere wird im Betrieb selbst hergestellt; dies gilt insbesondere für die Bearbeitung des Gusses der Bett- und Konsolfräsmaschinen. In einem aufwendigen Verfahren wird der gelieferte Guß geschabt; dies ist eine extrem anspruchsvolle handwerkliche Tätigkeit, für die es zu Zeitpunkt unserer Untersuchungen keine Automatisierungstechnik gab. Reine FuE gibt es im Unternehmen I nicht. In der Konstruktionsabteilung wird in der Regel nach klaren Zielvorgaben konstruiert und entwickelt. Diese Zielvorgaben ergeben sich ganz allgemein aus der Wettbewerbssituation und im besonderen durch die je spezifischen Kundenanforderungen.

Hier war die Untersuchung als prozeßbegleitende Studie angelegt. Sie verfolgte über einen Zeitraum von insgesamt zwei Jahren - auf der Basis begleitender Interviews und zwischenzeitlicher Rückkopplungen einiger Erhebungsbefunde - die Innovationsbemühungen des Unternehmens. Das Unternehmen reklamierte für sich eine technologische Spitzenstellung im Bereich von zweiachsig arbeitenden Fräsköpfen. Gefertigt wurden Maschinen in kleinen und mittleren Serien, Anpassungskonstruktionen orientieren sich an den Kundenwünschen. Neue Konstruktionen wurden gewöhnlich dann gemacht, wenn konkrete Kundenanfragen vorlagen. Durch die wachsende Nachfrage nach speziell konstruierten Maschinen ergab sich für die Firma angesichts der geringen Kapitaldecke das Problem, daß Neuentwicklungen kaum getestet werden konnten. Die Montage einer Maschine wurde dann häufig zu einer Improvisation, die hohe Kompetenzen von den Facharbeitern erforderte. Der Innovationstypus dieses Unternehmens ist im wesentlichen durch enge (informelle) Beziehungen zwischen den Abteilungen Konstruktion, Fertigung und Montage bestimmt.

Die untersuchten Anwender des Unternehmens I bilden die Fälle I_1, I_2, I_3 und I_4. Das Unternehmen I_1 ist ein Maschinenbauunternehmen. Der untersuchte Beschaffungsfall ist im Bereich Antriebstechnik (Getriebe für Lokomotiven und für Straßenfahrzeuge) zu verorten. Der Bereich Antriebstechnik des Unternehmens operiert weltweit, im Bereich der Bahngetriebe ist das Unternehmen technologisch führend. Aus der technologie-orientierten Marktstrategie ergeben sich die hohen Anforderungen, die an die Fertigungstechnik gestellt werden. Aufgrund der Einzel- bzw. Kleinstserienfertigung sind weiterhin die Flexibilitätsanforderungen sehr hoch.

Das Unternehmen I_2 ist ein typischer Marktnischenspezialist, der Zulieferteile insbesondere für verschiedene Branchen herstellt. Der Gründer der heutigen Firma hat sich vor ungefähr fünfundzwanzig Jahren selbständig gemacht und besitzt eine kleine Firma, in der er zwölf Mitarbeiter beschäftigt. Mit gebrauchten Maschinen, die er dann selbst nach seinen Verwendungszwecken überarbeitete, hat er sich als Zulieferer für die Automobilindustrie, den Maschinenbau und die Kunstoffindustrie spezialisiert. Dementsprechend produziert das Unternehmen nur qualitativ hochwertige Produkte in meist geringen Stückzahlen mit hoher Faktorspezifität. Das strategische Ziel, große Abhängigkeiten zu vermeiden, bestimmt auch die Beschaffung neuer Maschinen. Mit speziellen Maschinen sollen größtmögliche Flexibilität und Bearbeitungsgenauigkeit gesichert werden. Seit etwa Mitte der siebziger Jahre hat das Unternehmen immer wieder Maschinen des Herstellers I gekauft. Insbesondere die speziellen Fertigungsprobleme implizieren, daß das Leistungs- und Bearbeitungsspektrum dieser Maschinen umfassend ausgenutzt wird und der Anwender so die Bandbreite von Vor- und Nachteilen der jeweiligen Maschinentypen sehr gut kennt. Für den Hersteller I sind seine Maschinenkenntnisse besonders relevant, da viele Verbesserungsvorschläge durch diesen Anwender neue Innovationsziele setzen. Einige Entwicklungen des Herstellers sieht dieser durch sich in Gang gesetzt.

Der Untersuchungsfall I_3 fand in einem als *profit center* eingerichteten Werkzeug- und Formenbau eines großen Automobilkonzerns statt. Ausgangspunkt der Innovationsfallstudie bildete hier das Interesse des Anwenders an einer deutlichen Reduzierung der Rüstzeiten für den Werkzeugwechsel. Mit einer wachsenden Anzahl der Endprodukte bei verkleinerten Losgrößen und kürzeren Produktlebenszyklen haben verkettete Maschinensysteme in diesen Bereichen zunehmend größere Amortisationsprobleme.

"*Umrüstflexibilität*" (Malsch 1989: 145f.) ist hier ein zentraler strategischer Parameter des Technikeinsatzes geworden. Die Umrüstflexibilität bezieht sich auf die Verkürzung der Umrüstzeiten flexibilisierter Fertigungsstraßen durch elektronische Steuerungen, welche die Abfolge der Bearbeitungsschritte, die Werkzeugeinstellung und den Austausch von Werkzeugen, Transfer- und Spannvorrichtungen steuern. Trotz einer engen Hersteller-Anwender-Beziehung kam es in diesem Innovationsfall zu größeren Abstimmungsproblemen zwischen dem Technikhersteller und -verwender. Die formal nicht abgesicherten Interaktionen zwischen Management, Ingenieuren und Facharbeitern im Unternehmen I wurden bei der Neukonstruktion der Maschine vernachlässigt, so daß auch nach dem verspäteten Implementationstermin immer wieder Maschinenfunktionsprobleme auftraten. Einerseits vernachlässigte die Umstellung von erfahrungsgeleitetem auf wissenschaftsbasiertes Konstruieren die organisatorischen Bedingungen des Betriebes, andererseits wurden notwendige Abstimmungen mit dem Technikverwender nur zögerlich verfolgt (ein vergleichbares Problem trat auch im Fall I_4 auf). Der Versuch des Technikherstellers, zu dem alten Innovationsmuster erfahrungsbasierter Konstruktion zurückzukehren, wurde mit einer weiteren Maschine zwar noch unternommen (I_1), konnte die Firma angesichts gravierender Nachfragerückgänge allerdings nicht mehr retten, sie mußte Anfang 1994 den Konkurs anmelden.

Die **Innovationsfallstudien II** thematisieren die Entwicklung von hochpräzisen Sondermaschinen für unterschiedliche Branchen. Das Unternehmen II kann als kleiner Hersteller für sich keine technologische Führerschaft in einem bestimmten Marktbereich in Anspruch nehmen; seine Stärke liegt vielmehr in der Herstellung von spezifischen, auf die Anwender zugeschnittenen Lösungen. Die Produktpalette umfaßt reine Einzweckmaschinen, auf denen meist sehr hohe Losgrößen produziert werden, und Mehrzweckmaschinen. Damit variieren die technologischen Anforderungen stark im Hinblick auf die Maschinenbereitschaft, die bis zur vertraglichen Zusicherung von 96% reicht und z.T. mit komplexen Transferstraßen realisiert werden muß, über Einzweckmaschinen mit hohen Anforderungen an die Präzision bis hin zu flexiblen Anlagen, auf denen kleine Losgrößen hergestellt werden, bei denen die Umrüstzeit einen wichtigen Parameter darstellt. Mit der Konstruktion auf Bedarf sind hohe technologische Risiken verknüpft. Nur in Ausnahmefällen sind vor der Auslieferung von Maschinen Tests durchführbar, die Aufschluß über die sichere Funktion geben könnten. Hier sind es insbesondere die

vertrauensbasierten Beziehungen zwischen den Hersteller- und Anwenderabteilungen, die zu einer gemeinsamen Optimierung unter nicht völlig kontrollierbaren Randbedingungen führen, die sowohl Änderungen der Technik als auch durch Anpassungen der Organisation des Anwenders und der zu bearbeitenden Werkstücke auf Maschinen hin betreffen. Dieses, für den Innovationsfall II_1 zutreffende Innovationsmuster wurde im Fall II_2 nicht verfolgt.

Anwenderunternehmen II_1 ist ein Tochterunternehmen eines amerikanischen Konzerns mit weltweit 26.000 Mitarbeitern und arbeitet als selbständiges Profit-Center mit 850 Mitarbeitern (Stand 1/93). Hergestellt werden im wesentlichen Rohrverbindungen für den Einsatz bei hohen Drücken in allen Industriebereichen. Eingesetzt werden diese Verbindungen in Industriebereichen, die mit Flüssigkeiten unter hohem Druck hantieren, angefangen vom Maschinenbau, z.B. in der Herstellung von Kränen, über die chemische Industrie bis hin zu Kraftwerken. Maschinenbeschaffungen dienen der Rationalisierung, d.h. der Reduzierung von Stückkosten oder der Flexibilisierung von Fertigung und Lagerhaltung.

Die Firma kann auf eine gewisse Marktführerschaft verweisen, die wesentlich durch die Bekanntheit und die hohe Qualität der Produkte gegeben ist. Gleichzeitig muß sie sich in einem starken Preiswettbewerb behaupten. Die beschaffte Maschine ist ein Bearbeitungszentrum mit drei Arbeitsstationen und einer Roboterzuführung und wird für die Produktion einer Palette von Verschraubungselementen mittlerer Größe eingesetzt. Die Maschine ist seit Oktober 1992 in Betrieb und befand sich zum Zeitpunkt der Befragungen im Anwenderbetrieb in der Einarbeitungs- und Optimierungsphase. Geschätzt wurde, daß die Erstellung von Bearbeitungsprogrammen und die Abstimmung zwischen Zuführung, Werkzeugen und Maschine noch etwa ein halbes Jahr in Anspruch nehmen würde.

Das Unternehmen II_2 ist Teil eines Schweizer Konzerns, der seinen Schwerpunkt ursprünglich im Stahlbereich hatte, aber in den letzten zwanzig Jahren zunehmend diversifizierte und traditionelle Metallbereiche fallen ließ. Der Betrieb wird als selbständiges Profit-Center betrieben und erwirtschaftet mit 150 Arbeitnehmern einen Jahresumsatz von ca. 50 Mill. DM. Die Firma bezeichnet sich als den bedeutendsten Schweizer Hersteller von Armaturen für die Gas- und Wasserversorgung, stellt aber auch Verbindungen für verschiedene industrielle Anwendungen her. Ein wichtiger Bereich des Werkes ist die Herstellung von Hydranten, für die es in der Schweiz ein

Quasi-Monopol hat. Die Automatisierung ist hoch: Dem Umsatz dieser Sparte von ca. 16 Mill. DM stehen in der Fertigung sechs Personen gegenüber. Hergestellt wird aber kein technologisches Spitzenprodukt. Die besonderen Qualitäts- und Servicebedingungen haben zum Erfolg dieser Produktionssparte beigetragen. Die Hydranten und Armaturen unterliegen ständigen technischen Änderungen aufgrund einer sich ändernden Nachfrage nach Produkten, Design und Oberflächenbearbeitungen. Ebenso sind die zunehmenden Forderungen nach Umsetzung von Umweltschutzkriterien sowie die Vorgaben der Normungsbehörden von Bedeutung. Darüber hinaus werden Konstruktionen an neue Produktions- und Bearbeitungsverfahren angepaßt. Besondere Aufmerksamkeit kommt dabei der Flexibilisierung zu, da die umfangreiche Produktpalette sich so bei geringen Lagerhaltungskosten fertigen läßt.

Die Innovationsfallstudien in diesen Unternehmen verdeutlichen die *interpretative Flexibilität* von Technik, mit anderen Worten, die Notwendigkeit der Beachtung von Verwendungskontexten. Im vorliegenden Fall hatte der Technikverwender II_1 eine Maschine nachgefragt, die einer bereits implementierten und unter betrieblichen Alltagbedingungen funktionierenden Maschine beim Technikverwender II_2 entsprach. Da angenommen wurde, beide Maschinen unterschieden sich nur unwesentlich, wurde der Verwendungskontext nur unzureichend einbezogen, wodurch die Funktion der Maschine gravierend beeinflußt wurde. Erst mit einer neuen Situationsdefinition, die Raum für gemeinsame Lernprozesse eröffnete, wurde in diesem Fall eine *Eigenlösung* gefunden.

Die **Innovationsfallstudie III** lenkt den Blick auf ein anderes Innovationsmuster. Der Betrieb III ist ein Serienhersteller, der mit dem Anspruch eines *global players* seine Marktaktivitäten organisiert. Daraus resultieren Innovationsbedingungen die durch die Forderung nach durchgreifenden Neuentwicklungen wesentlich gekennzeichnet sind. Bei dem Ziel, erfolgreich in angezielte Marktsegmente eindringen zu können bzw. um Marktanteile der Konkurrenz übernehmen zu können, kann - im Unterschied zu dem inkrementalen Charakter innovativer Prozesse der Kleinserienhersteller und Unikatproduzenten - der Betrieb nicht auf schon artikulierte und exakt definierte Kundenaufträge zurückgreifen. Dadurch ergibt sich ein erhebliches Risiko fehlgeleiteter FuE-Ressourcen. Für die serielle Entwicklung und den Bau von CNC-Universaldrehmaschinen erweisen sich weder Marktanalysen noch technologische Entwicklungsmöglichkeiten allein als hinreichend, um den Erfolg von Innovationen zu garantieren; vielmehr

bedarf es einer Risikominimierungs- und Nutzenmaximierungsstrategie, welche die Identifizierung wachstumsträchtiger Märkte und erfolgversprechender Produkte abstützt. Geleistet wird dies durch die *Konstruktion eines repräsentativen Verwendungskontextes*. Die Entwicklung neuer Baureihen geschieht deshalb auch immer in enger Kooperation mit repräsentativ ausgewählten (Pilot-)Anwendern.

Das Unternehmen III_1 produziert Armaturen und konkurriert in Marktsegmenten, die als preiskompetitiv einzuordnen sind. Die Wettbewerbsposition ergibt sich vorrangig nicht aus dem technischen *Know-how* der Produkte (Qualitätsmerkmale), sondern aus dem Verfahrens- bzw Fertigungswissen zu deren kostengünstigen Produktion. Somit ist die Wettbewerbsposition des Unternehmens direkt abhängig von der verfügbaren Produktionstechnik und dem fertigungstechnischen *Know-how* der Mitarbeiter. Dementsprechend gehen Beschaffungsinitiativen nicht von der Konstruktion oder der Einkaufsabteilung, sondern von der Werkstattleitung aus. Der Betriebsleiter stellt selbst kostenrechnerische Überlegungen an und ergreift dann die Beschaffungsinitiative. Produziert werden verschiedene Typen von Armaturen vornehmlich für den Großhandel und die Großindustrie. Insbesondere die angestrebten Volumenmärkte erfordern eine Produktionstechnik, die im wesentlichen der Serienproduktion entspricht und damit um eine Optimierung der Produktionsprozesse (höhere Qualität, geringere Herstellungskosten) bemüht ist. Zeitökonomie ist daher ein dominierender Parameter der technischen Beschaffung, aber auch einer intelligenten Kombination von Arbeits- und Maschinenlaufzeiten, also eine organisatorische Herausforderung. Bei den Produktionsmaschinen handelt es sich sowohl um reine Sondermaschinen (u.a. auch vom Hersteller II) als auch um Serienmaschinen, die für die speziellen Zwecke des Unternehmens angepaßt wurden. III_1 ist Pilotanwender und hat mehrfach verschiedene Werkzeugmaschinen von Hersteller III und IV erprobt und unter Betriebsbedingungen getestet. Zur Zeit der Erhebungen wurde zusammen mit dem Hersteller die Entwicklung eines neuen Berufsbildes - der *Systembetreuer* - erarbeitet.

Der analysierte Innovationsfall zeigt, wie in der Zusammenarbeit mit einem solchen - technologisch versierten - Anwender III_1 innovationsrelevante technologische Problemlagen identifiziert werden. Fortlaufende Rückkopplungen und Kritik des Anwenders generieren für den Hersteller wesentliche technische Parameter, die in gemeinsamen Lernprozessen während der vorseriellen Phase durch experimentelle Implementationen eines Prototypen gewonnen werden. Aus der Sicht des Anwenders han-

delt es sich dabei keineswegs nur um passive Anwendungen nach den Vorstellungen des Herstellers, sondern um ein aktives Wechselspiel von Erprobungen, Tests und Optimierungen für eigene Fertigungsaufgaben, die für den Hersteller auswertbar sind. Während der Serienhersteller die Möglichkeit einer seriellen Produktion des Prototypen für unterschiedliche Verwendungskontexte (*Dekontextualisierung*) erprobt, testet der Anwender die mit der neuen Technik verbundene Möglichkeit der fertigungstechnischen Prozeßoptimierung (*Rekontextualisierung*). Diese Differenz erfordert ein Vorgehen, das gemeinsame Aushandlungsprozesse wahrscheinlich macht und so Synergieeffekte ermöglicht.

Die **Innovationsfallstudie IV** konzentriert sich auf den Bau von Drehmaschinen in den Bereichen der Einzelfertigung (Losgröße 1) bis hin zur Großserienproduktion (z.B. für die Automobilindustrie). Der Betrieb IV bewegt sich in einem Marktsegment, in dem ein Preiswettbewerb auf hohem Qualitätsniveau stattfindet. Er konzentriert sich auf den Bau von CNC-gesteuerten Drehmaschinen und mechanisch gesteuerten Mehrspindeldrehautomaten. Der untersuchte Innovationsfall analysiert Anforderungen, die sich daraus ergeben, heterogene Bearbeitungsschritte zu einer Komplettbearbeitung von Teilen zu integrieren (Fräsen, Bohren, Drehen und Schleifen). Im Zuge dieser Entwicklung werden aus den Drehmaschinen Bearbeitungszentren '*en miniatur*', die alle Bearbeitungsschritte (Drehen, Fräsen, Bohren) in einer Aufspannung durchführen. Die durchschnittliche Seriengröße umfaßt bei den CNC-Drehautomaten ca. 150 Einheiten. Die Maschinen können im Rahmen eines Baukastenprogramms kundenspezifisch ausgelegt werden. Entwicklungsrelevant ist hier insbesondere die Innovationsarbeit der Facharbeiter und die interne Rekursion zwischen Konstruktion und Werkstatt. Lediglich in diesem Fall gelang es nicht, einen Anwender des Unternehmens zur Mitarbeit zu gewinnen.

Die **fünfte Innovationsfallstudie** wendet sich einem speziellen Techniksegment, der Zahnradbearbeitung zu und stellt einen Innovationstyp vor, der in einem hohen Maße auf theoretisch-wissenschaftliches Wissen angewiesen ist. Die komplexen Bedingungen der Zahnradfertigung zwingen das Unternehmen V dazu, neben der Innovation des Produktionsmittels in großem Maßstab technologisches *Know-how* - in engem Kontakt mit außerbetrieblichen Forschungseinrichtungen, zum Teil auch mit den Nutzern - zu

erarbeiten. Das Unternehmen produziert u.a. NC-gesteuerte Wälzfräsmaschinen und Verzahnungszentren sowie Schleif-, Hon- und Schälmaschinen für die sogenannte 'Hartbearbeitung'. Kleinere und mittelgroße Maschinen werden im wesentlichen nach einem Baukastenmodell gefertigt, bei größeren Maschinen überwiegen kundenspezifische Auslegungen. Für alle Maschinen gelten sehr hohe Genauigkeits- und Qualitätsanforderungen. Das Unternehmen sieht sich in technischer wie in ökonomischer Dimension als Marktführer in seinem Segment. Die wichtigsten Technikverwender sind die Automobilindustrie und die Zahnrad-/Getriebefertigung. Die Innovationstätigkeit des Unternehmens ist von der 'Philosophie' geleitet, mit einer Maschine zugleich auch die Technologie, d.h. das konkrete Bearbeitungs- und Verfahrenswissen, zu entwickeln und anzubieten. Die hohe Relevanz des theoretisch-wissenschaftlichen Wissens führt zu deutlich intensiveren FuE-Anstrengungen und fordert einen entsprechenden Ressourceneinsatz. Andererseits genießen auch die Qualifikation und die Kreativität der Facharbeiter eine hohe Wertschätzung; sie werden im Rahmen sogenannter *Ideen-Teams* gefördert und für die Innovations- und Produktionsprozesse fruchtbar gemacht.

Das Anwenderunternehmen V_1 fertigt mit insgesamt ca. 9.600 Beschäftigten Standardgetriebe und auf Kundenwunsch Sonderausführungen. Die beanspruchte technologische Spitzenstellung bezieht sich sowohl auf die Produkte als auch auf die Produktionsverfahren, die es beherrschen muß, um qualitativ hochwertige Produkte herstellen zu können. Dies erfordert angesichts der schon angesprochenen Komplexität der Geometrien und Bearbeitungsoperationen umfangreiche Vorüberlegungen, Tests, Probeläufe und Pilotanwendungen, die zum Teil gemeinsam mit dem Hersteller V durchgeführt worden sind.

Das Anwenderunternehmen V_2 ist ein weltweit operierender Konzern der Automobilbranche; 1992 waren in der BRD ca. 47.000 MitarbeiterInnen beschäftigt, der Umsatz betrug etwa 22 Mrd. DM. Unsere Untersuchungen fanden im Getriebewerk des Konzerns statt, wo es darum ging, die Technologie der "Hartbearbeitung", d.h. der Bearbeitung gehärteten Stahls, für ein neues Getriebe zu entwickeln und zu testen, um schließlich einen stabilen Fertigungsprozeß zu erreichen. Dazu wurden u.a. Maschinen des Herstellers V eingesetzt bzw. von ihm entwickelt und in Pilotanwendungen im Unternehmen V_2 erprobt.

Die **Innovationsfallstudie VI** stellt ein mittelständisches Unternehmen der Werkzeugmaschinenbauindustrie - einen typischen Sondermaschinenbauproduzenten - vor. Die Bearbeitung von Freiformflächen mit Portalfräsmaschinen ist die Spezialität des Unternehmens. Es besaß zu Beginn der Untersuchungen eine branchenüberdurchschnittliche Fertigungstiefe, was einerseits hohe Lager- und Personalkosten bedingte, andererseits aber auch eine große Flexibilität und ein hohes betriebsspezifisches *Know-how*. Im Zusammenhang einer durchschnittlichen Bearbeitungszeit von 1-2 Jahren für eine Großanlage (Portalfräsmaschinen für den Werkzeugformenbau der Automobil- und Flugzeugindustrie) stellte dies eine enorme Kapitalbindung dar und wurde in der strukturellen Krise der Branche zu einer besonderen unternehmerischen Belastung. Die fast ausnahmslose Anwendung in der Einzelstückproduktion der Anwender erfordert eine möglichst flexible und störfallfreie Technik und führt im Werkzeug- und Formenbau zu einer verstärkten Koppelung von Produktinnovation und Prozeßinnovation.

Der untersuchte Innovationsfall analysiert eine neue Verfahrenstechnik für den Technikverwender, ein Unternehmen aus der Automobilindustrie: Die Entwicklung und Konzeption einer "Hochgeschwindigkeits-Fräsmaschine" setzte voraus, daß fünf verschiedene Komponenten einer Portalfräsmaschine einen Innovations*sprung* vollziehen, um die Umdrehungsleistungen der Spindeleinheit zu verdoppeln. Einerseits mußten hierzu technologische Ungleichgewichte im Entwicklungsstand verschiedener Komponenten ausgeglichen, andererseits anwenderspezifische technologische Parameter berücksichtigt werden, so daß nur in einem komplexen Netzwerk aus Zulieferanten, Komponentenherstellern und Anwender (VI_1) die Innovation zu realisieren war. Dennoch zeigt die Analyse, daß es sich auch bei dieser Innovation nicht um eine *radikale*, sondern um eine *inkrementale* Innovation handelt, die durchaus *step by step* geschaffen wurde.

Die weiteren Diffusionsaktivitäten des Technikherstellers führten zur *Innovation der Innovation*, d.h. zu einer technologischen Weiterentwicklung der "Hochgeschwindigkeits-Fräsmaschine". Hier wurden insbesondere die *Bottom-up*-Entscheidungsprozesse sowie die Eigenaktivitäten des Anwenders zu einem innovationsrelevanten Datum. Mit der Hochgeschwindigkeits-Fräsmaschine veränderte der Technikhersteller sein Innovationsmuster von der reinen Sondermaschinenproduktion zur Kleinserienproduktion. Durch riskantes Innovieren gelang es ihm - trotz des Verlustes der Eigenständigkeit und einem enormen Abbau der Fertigungstiefe - die Krise zu bewältigen.

IV. Empirische Untersuchungen[1]

Die folgenden empirischen Analysen dienen der Plausibilisierung des Konzepts rekursiver Innovation. Angestrebt werden dabei Erweiterungen der modernen Innovationsforschung in drei Dimensionen, die die Grundlage der folgenden drei Abschnitte bilden.

Der erste Abschnitt fokussiert den *Prozeß des Innovierens*: Die Beobachtungsperspektive richtet sich auf die dynamische Koppelung zwischen dem Herstellungs- und Verwendungskontext neuer Technik. Das Ziel ist zu zeigen, wie Technikhersteller und -verwender in gemeinsamen Kooperations- und Kommunikationsprozessen eine kontextsensitive lokale *Eigenlösung* erzeugen. Die Analyse richtet sich erstens auf die Erzeugung der Anfangsbedingungen des Innovationsfalles, deren empirisches Korrelat in den präkontraktuellen Verhandlungen gesehen wird. Die präkontraktuellen Verhandlungen werden als Aufbau eines Innovationsnetzwerkes interpretiert. Darauffolgend werden die vielfältigen Kommunikations- und Kooperationsprozesse zwischen dem Hersteller und dem Verwender der Technik als dynamische Abhängigkeiten im Innovationsprozeß analysiert. Gezeigt wird, wie fortlaufend Unsicherheiten bearbeitet werden. Dieser Prozeß führt - solange die rekursive Gestaltung des Verwendungskontextes nicht abgebrochen wird - zur Erzeugung der gesuchten *Eigenlösung* (Technik).

Der zweite Abschnitt fokussiert die *Praxis des Innovierens*. Beabsichtigt ist die genauere Herausarbeitung und Konkretisierung der - in der Innovationsforschung hervorgehobenen - Bedeutung von *learning by doing* und *learning by using* (Rosenberg) für den Innovationserfolg. Mit dem Konzept der *Innovationsarbeit* wird 'en detail' den unterschiedlichen Innovationsbeiträgen der Facharbeiter in den technikherstellenden und technikverwendenden Unternehmen nachgespürt, um zu zeigen: Technikentwicklung ist weder ausschließliches Resultat der Arbeit von Ingenieuren und Technikern noch sind die Arbeitenden ausschließlich Betroffene der technischen Entwicklung. Die Innovationspraxis ist durch alltägliche Kommunikation und Kooperation sowie durch gemeinsame Lernprozesse von Ingenieuren/Technikern und Facharbeitern geprägt.

Der dritte Abschnitt fokussiert die *strukturbestimmenden Aspekte des Innovierens* und thematisiert die Verknüpfungsleistungen zwischen Technikherstellern und -verwendern. Anhand der Kooperations- und Kommunikationsprozesse zwischen Technik-

---

[1] Das empirische Material dieser Analysen bilden die am Institut für Wissenschafts- und Technikforschung durchgeführten Innovationsfallstudien. (Vgl. Asdonk, Herbold, Kowol 1995)

herstellern und -verwendern werden die interorganisationalen Aspekte der Innovationsprozesse betrachtet und konzeptionell als *Innovationsnetzwerke* gefaßt. An zwei empirischen Beispielen wird vorgeführt, wie die interaktive Konstruktion von Verwendungskontexten in den Bereichen der Serien- und Unikatfertigung gelingt, welche Bedeutung Vertrag und Vertrauen, reziprokes Handeln und organisationales Lernen für den Innovationserfolg haben, aber auch, wie *Irritationen* im Innovationsnetzwerk mögliche Vorteile konterkarrieren.

1. Rekursive Technikentwicklung: Die Erzeugung einer *Eigenlösung*

1.1 Der Technikhersteller II

Der Sondermaschinenhersteller II ist ein traditionsgeprägtes, mittelständiges Unternehmen, das sich auf die Erzeugung von Sondermaschinen, flexiblen Fertigungsanlagen und Mehrspindelbohrmaschinen spezialisiert hat. Viele Beschäftigte des Unternehmens weisen eine langjährige Betriebszugehörigkeit auf. Die Mitarbeiterzahl liegt, einschließlich der Auszubildenden und der Geschäftsinhaber, bei 140 (Stand 10/92), die sich wie folgt verteilt: Konstruktion 20, mechanische Fertigung 25, Montage 25, Vertrieb 8 sowie Verwaltung, Einkauf, Firmenleitung, Ausbildung, Reinigung usw. mit insgesamt ca. 60.[2]

Das Unternehmen II zeichnet sich durch eine kundenorientierte Produktstrategie aus, die zumeist längere Durchlaufzeiten der Aufträge impliziert; die Produktentwicklung ist Teil der Auftragsabwicklung. Dementsprechend ist die Organisation der betrieblichen Auftragsabwicklung zwischen Auftragsakquisition und Endmontage weniger bürokratisch; sie erfordert mehr Flexibilität für nachträgliche Modifikationen auf Kundenwunsch und ist durch eine stetige Kooperation unterschiedlicher Funktionsbereiche gekennzeichnet. Kunden sind umsatzmäßig etwa zur Hälfte die Automobilindustrie, zu einem Viertel die Armaturenhersteller und zu einem weiteren Viertel der allgemeine Maschinenbau. Die Produktpalette umfaßt reine Einzweckmaschinen, mit denen die Technikverwender sehr hohe Losgrößen produzieren, und Mehrzweckmaschinen für

---

2 Auffallend ist der prozentual hohe Anteil der Konstruktion (fast fünfzehn Prozent der Gesamtbelegschaft) beim Hersteller II. Er liegt deutlich über dem Branchendurchschnitt und signalisiert die konstruktionsintensive Flexibilität dieses Sondermaschinenherstellers.

unterschiedliche Fertigungsanforderungen. Während die Einzweckmaschinen sehr hohe Präzisionsanforderungen stellen, sind Umrüstzeit und Flexibilität die wichtigsten Anforderungen für die Mehrzweckmaschinen. Entsprechend diesen variierenden technologischen Anforderungen lassen sich die Innovationsprozesse im Unternehmen II als vielfältig und komplex kennzeichnen.

Produziert wird überwiegend für den inländischen Markt, der Exportanteil liegt bei 25%. Der Jahresumsatz betrug 1990 26 Mio. DM. Die besonderen Anforderungen an die Herstellung von Sondermaschinen umfassen nicht nur zeitintensive zwischenbetriebliche Aushandlungen[3], sondern auch einen hohen Aufwand an innerbetrieblicher Kommunikation. Diesen Anforderungen korrespondieren vertrauensbasierte Kooperationsbeziehungen, die mit Bezug auf die Debatten zum Konzept der betrieblichen Sozialverfassung (vgl. Hildebrandt 1991) als "*high trust-relations*" (Fox 1984) bezeichnet werden können. Die Inhaberfamilie fördert systematisch Organisationsstrukturen, die durch geringe Statusunterschiede der Mitarbeitergruppen geprägt sind. Die Motivation der Mitarbeiter wird ferner über Gruppenarbeit und eigenverantwortliche Disposition ihrer Aufgaben gesteigert. Das Ziel ist es, innovationsrelevante Beiträge schnell und ohne bürokratische Hürden einzubinden und das Ineinandergreifen konstruktiv-theoretischer Wissensbestände mit den Erfahrungen der Facharbeiter zu sichern. Ergänzend dazu inszeniert das Unternehmen eine Außendarstellung, die hohe Anpassungsfähigkeit und besondere Präzision herausstellt. So wirbt es beispielsweise damit, eine großdimensionierte High-Tech-Maschine für den europäischen Raketenbau geliefert zu haben. Dennoch kann das Unternehmen für sich keine technologische Führerschaft in einem bestimmten Marktbereich in Anspruch nehmen; seine Stärke liegt vielmehr in der Herstellung von kontextspezifischen, auf die Bedürfnisse der Anwender zugeschnittenen Lösungen.

Das wichtigste Merkmal des Sondermaschinenbaus liegt in der Konstruktion und Fertigung auf Bestellung. Neue Maschinen werden nicht wie bei den Serienherstellern für einen anonymen Markt innoviert und aus dem Lager heraus verkauft; vielmehr liegt hier der Idealtypus einer Produktion nach Bedarf vor. Hier ist die Verzahnung zwischen der Montage/Inbetriebnahme und Konstruktion besonders eng, denn einerseits sind ex

---

3 Die intensiven zwischenbetrieblichen Aushandlungsprozesse verweisen darauf, daß der 'Markt' eine gemeinsame Konstruktion von Hersteller und Verwender ist, die weder allein vom Hersteller noch vom Technikverwender geleistet werden kann.

ante nicht alle konstruktiven Probleme *theoretisch* lösbar, andererseits ergeben sich nicht alle montagenotwendigen Schritte aus der reinen Anschauung. Zum Teil sind auch die Konstruktionsunterlagen noch unvollständig bzw. nur eingeschränkt praktikabel. Die Konsequenzen für Montage und Fertigung bestehen darin, daß routinisierte Arbeitsabläufe die Ausnahme darstellen; je nach Maschinentyp und -größe sind (Bau-)Teile zu fertigen bzw. zu montieren, deren Auslegungen stark mit dem jeweiligen Maschinendesign variieren.

Die mechanische Fertigung des Herstellers II fungiert quasi als ein interner Zulieferer. Die räumliche Nähe zwischen den Abteilungen und das auf schlanke Hierarchien abgestellte Organisationskonzept ermöglichen Feinabstimmungen auf *kurzen Wegen* und ohne umfassende explizite Festlegung, wie sie mit externen Zulieferern nicht möglich sind. So können Toleranzen für zentrale Funktionsbestandteile verbal mitgeteilt werden, ohne den zeichnerischen bzw. schriftlichen Aufwand zu stark anwachsen zu lassen.

Koordiniert wird die Fertigung über Terminvorgaben und -kontrolle. Diese werden von der Konstruktion und der Montage gemeinsam abgestimmt. Dabei übernimmt die Arbeitsvorbereitung als Stabsabteilung die Zielvorgaben zur Überwachung der Fertigungstermine. Der Leiter der mechanischen Fertigung ist primär für die technische Umsetzung zuständig und nur marginal, etwa bei auftauchenden Problemen, mit der Terminkontrolle beschäftigt.

Die Schnittstellenfunktion zwischen mechanischer Fertigung und Montage übernimmt das Lager: hier werden gefertigte und zugelieferte Teile maschinenspezifisch verwaltet und an die Montage weitergegeben. Besonderes Augenmerk kommt der auf die jeweiligen Montageschritte abgestimmten Lieferung zu: Motoren werden erst für den Zeitpunkt bestellt, an dem sie benötigt werden, Steuerungen durchlaufen erst dann das Lager, wenn die mechanische Montage abgeschlossen ist, Führungen werden erst dann gefertigt, wenn der Maschinenunterbau überarbeitet wurde.

Für die Innovationsprozesse des Unternehmens ist das informelle Zusammenspiel der verschiedenen Abteilungen zentral, um die schnelle Rückmeldung von konstruktiven Fehlern, die Einhaltung von gewöhnlich knapp kalkulierten Terminen und die Sicherung des hohen Qualitätsstandards zu garantieren. Umgesetzt wird dies durch die schlanke Hierarchie, ein Umstand, der durch die facharbeiterdominierte Fertigungsorganisation erleichtert wird. Zur Sicherung des insbesondere für den Sondermaschinenbau notwen-

digen Erfahrungswissens der Konstrukteure und Facharbeiter trägt auch die langjährige Betriebszugehörigkeit bei. Die starke Identifikation der Mitarbeiter mit dem Betrieb ist Ausdruck des vorherrschenden Senioritätsprinzips, das darauf abstellt, ausgebildeten Facharbeitern den firmeninternen Aufstieg zu ermöglichen. Als Selektionsmittel dient dabei in erster Linie die Montage, einschließlich des Kundendienstes, bei der Kreativität und Eigenverantwortlichkeit der Mitarbeiter gefordert sind. Facharbeiter, die bereit sind, Montage- und Kundendiensttätigkeiten auszuüben, dokumentieren damit ihre hohe Motivation.

Solche Facharbeiteraufstiegspositionen finden sich im technischen Büro, bei den Meistern in der Fertigung oder Montage oder in Leitungsfunktionen in unterschiedlichen Werkstattbereichen. Aktuelle industriesoziologische Befunde verweisen allerdings darauf, daß solche Aufstiegspositionen durch die im Zuge der Enthierarchisierung vollzogenen Ausdünnung mittlerer Unternehmenspositionen und der Substitution der Meister und Techniker durch Fachhochschulingenieure gegenwärtig gefährdet sind. Die damit verbundene Erosion traditioneller innerbetrieblicher Karrierewege impliziert auch das Wegfallen sogenannter "*Brückenqualifikationen*", d.h. Qualifikationen, die in vertikaler und horizontaler Richtung wirken, synthetisierenden Charakter haben und ihre Träger befähigen, den Austausch zwischen Mitarbeitern mit unterschiedlichen Qualifikationsprofilen herzustellen. (Vgl. Drexel 1994)

1.2 Der Technikverwender II_1

Das Anwenderunternehmen II_1 ist in den dreißiger Jahren gegründet worden und hat sich nach Ende des 2. Weltkrieges am jetzigen Standort angesiedelt. Seit etwa zehn Jahren ist es ein Tochterunternehmen eines amerikanischen Konzerns mit weltweit 26.000 Mitarbeitern und arbeitet als selbständiges Profitcenter. In dem ostwestfälischen Werk sind 850 Mitarbeiter beschäftigt. (Stand 1/93) Hergestellt werden im wesentlichen Rohrverbindungen für den Einsatz bei hohen Drücken in allen Industriebereichen.

Die Produkte der Firma basieren auf einem Patent, das bei laufenden Veränderungen seit den dreißiger Jahren eine Vereinfachung von Rohrverbindungen ermöglicht. Mit dem Verfahren sind sehr sichere Verschraubungen möglich, die für einen Betriebsdruck bis zu 600 bar ausgelegt sind. Eingesetzt werden diese Verbindungen in Industriebereichen, die mit Flüssigkeiten unter hohem Druck hantieren, angefangen vom

Maschinenbau, über die chemische Industrie bis hin zu Kraftwerken. Von besonderem Vorteil ist dabei, daß die Verbindungen unkompliziert gelöst und erneut verwendet werden können. Reparaturen an Maschinen und komplexen Anlagen sind damit ohne eine Erneuerung der Rohre möglich. Die Produktpalette setzt sich zu einem Großteil aus DIN-Produkten zusammen. Die DIN-Normen erstrecken sich dabei sowohl auf die Materialzusammensetzung (Stahl, Edelstahl und Messing) als auch auf technische Details der Werkstücke. Maschinenbeschaffungen beziehen sich deshalb weniger auf die Fertigung neuer Produkte, sondern dienen der Rationalisierung, entweder durch die Reduzierung von Stückkosten oder die Flexibilisierung der Organisation (z.B. der Fertigung oder der Lagerhaltung).

Die Firma kann auf eine gewisse Marktführerschaft verweisen, die wesentlich durch die Bekanntheit und die hohe Qualität der Produkte gegeben ist. Gleichzeitig muß sie sich in einem Wettbewerb behaupten, der im wesentlichen über Preise geführt wird.

> "*Unsere Produkte sind DIN-Produkte und werden von verschiedenen Wettbewerbern hergestellt und das Know-how der ganzen Fertigung besteht natürlich in der kostengünstigen Herstellung solcher Produkte. Wer das weiß, der hat natürlich die Nase am Markt vorn ... Wenn man neue Produkte hat, für die es keinen Wettbewerb gibt, hat man diese Probleme nicht so, als wenn es ein Standardartikel ist, der in der DIN festgeschrieben steht und den viele Hersteller herstellen. Dazu gehören eben auch unsere Produkte.*" (II_1, Werksleiter: 2)

Im Anwenderbetrieb werden angelieferte Gußteile aus Stahl, Messing und zunehmend Edelstahl bearbeitet. In der Produktion werden unterschiedliche Werkzeugmaschinen eingesetzt. Neben älteren Serienmaschinen, die z.T. noch mit Kurvensteuerungen arbeiten, sind dies NC-gesteuerte Serienmaschinen und eine größere Anzahl von Sondermaschinen.

Beschaffungsinitiativen werden in der Regel von der Arbeitsvorbereitung gestartet. Die Arbeitsvorbereitung unternimmt dazu Fertigungskalkulationen, in denen unterschiedliche Bearbeitungsvorgänge und Maschineneinsätze '*durchgerechnet*' werden. Ein Simulationsprogramm ermöglicht es, Vergleiche zur Auswahl des günstigsten Verfahrens anzustellen. Notwendige Programmänderungen werden ebenfalls von der Arbeitsvorbereitung durchgeführt. Damit kommt der Arbeitsvorbereitung eine zentrale Stellung in der Fertigungsorganisation zu, die sich nicht nur auf ökonomische Parameter, sondern auch auf technische Abläufe bezieht. Den Mitarbeitern dieser Abteilung werden deshalb nicht nur kaufmännische Fähigkeiten abverlangt, sondern auch produk-

tionsspezifisches Wissen. Deshalb finden sich an dieser Stelle Mitarbeiter, die über eine Doppelqualifikation verfügen, so wie beispielsweise ein Gesprächspartner, der nach einer Dreherausbildung und jahrelanger Berufspraxis eine zusätzliche Refa-Ausbildung gemacht hat.

Obwohl sich die für die Fertigung erstellten Arbeitspläne durch eine technische Optimierung auszeichnen, verbleiben für die Fertigung Freiheitsgrade. Zum einen sind diese dadurch gegeben, daß der Werkstatt - bis hin zum einzelnen Maschinenführer - ein gewisser Grad an eigener Disposition zur Arbeitseinteilung verbleibt, zum anderen dadurch, daß die Arbeitsgänge nur vom Verfahren her festgelegt sind. Um unter diesen Bedingungen zu fertigen, bedarf es eines bestimmten Kenntnisstandes der Mitarbeiter in der Produktion und ihrer Motivation. Mitarbeiter, die nicht über die formale Facharbeiterqualifikation verfügen, werden firmenintern angelernt, um eine hohe arbeitsorganisatorische Flexibilität zu erreichen.

Die Arbeit an den kapitalintensiven Werkzeugmaschinen bringt es mit sich, daß auf eine Akkordentlohnung verzichtet wird. Die Bearbeitungs- und Maschinenlaufzeiten dienen in erster Linie als Grundlage der Kalkulation und der Fertigungsplanung weniger der Kontrolle der Mitarbeiter.

> *"Also, ich sage mal, hier im Hause haben wir das auch immer vertreten, daß bei einer Maschinenhauptzeit von 95% der Facharbeiter gar nicht mehr viel beeinflussen kann, in keiner Form. Was sollen wir da noch mit der Uhr? ... Akkordentlohnung halte ich für eine Sache, die überholt ist. Ich finde es wichtiger, die Verantwortlichkeit eines Mitarbeiters zu fördern und ihm die Dinge klar zu machen."* (II_1, Arbeitsvorbereitung, Angestellter: 12f.)

Anstelle einer auf die Spitze getriebenen punktuellen Ökonomisierung von Arbeitsabläufen durch Akkordvorgaben wird auf die Erzeugung einer mikropolitischen Konstellation abgestellt, die durch die Pole maschinendeterminierter Bearbeitungszeiten und -abläufe einerseits und motivationsabhängiger Notwendigkeit einer fehlersensitiven und prozeßinnovativen Einstellung der Mitarbeiter andererseits bestimmt ist. Ein wichtiger Faktor ist dabei die Fehlermeldung.

> *"Es kann ja was falsch sein, das wir nicht bemerken, das merkt die Werkstatt. Das ist ein ständiges Korrigieren. Das ist an der Stelle wichtig, daß dort Fehler selbst bemerkt werden. Man kann noch so elegante Systeme haben, aber wenn die Leute nicht mitdenken, dann funktioniert das nicht. Wenn der das nicht durchliest, wenn er nicht genau hinguckt, dann kann ich das alles vergessen, egal welcher Job da unten abläuft, wenn der nicht selbst darauf achtet, daß das alles ohne Fehler abläuft."* (II_1, Arbeitsvorbereitung, Angestellter: 12)

Bis hier soll festgehalten werden, daß der Technikverwender II_1 das Ziel einer fehlersensitiven, flexiblen und rationellen Fertigungsorganisation durch eine Strategie verfolgt, die die Motivation der Mitarbeiter zu sichern sucht und daß er dabei auf tayloristisch geprägte Kontrollmechanismen weitgehend verzichtet.

Die Darstellung wendet sich nun explizit dem untersuchten Innovationsfall und den fortlaufenden Koomunikations- und Kooperationsprozessen zwischen den vorgestellten Unternehmen zu. Das Innovationsobjekt ist ein Bearbeitungszentrum mit drei Arbeitsstationen und einer Roboterzuführung und wird für die Produktion einer Palette von Verschraubungselementen mittlerer Größe eingesetzt.

Zunächst wird herausgestellt, wie in den zwischenbetrieblichen Verhandlungen - noch vor Abschluß des Kontrakts - Hersteller und Technikverwender interaktiv die innovationsrelevanten Parameter erzeugen, die den weiteren Verlauf des Innovationsprozesses konditionieren. Das theoretische Interesse richtet sich darauf, wie in den *präkontraktuellen Aushandlungen* die Anfangsbedingungen eines rekursiven Innovationsprozesses erzeugt werden.

1.3 Präkontraktuelle Aushandlungen: Die Erzeugung der Anfangsbedingungen

Sondermaschinen sind Unikate, d.h. singuläre Lösungen für spezielle Verwendungszwecke. Sowohl in den Innovationsfallstudien als auch in den Experteninterviews konnte eruiert werden, daß Technikverwender im Fall einer Entscheidung für eine Sondermaschine ein bestimmtes, verallgemeinerbares Procedere der Entscheidungsfindung verfolgen: Die Technikverwender, die eine konkrete technische Lösung für ein spezielles Fertigungsproblem suchen, sprechen in der Regel zwischen drei und fünf Technikhersteller an, von denen bekannt ist, daß sie in einem bestimmten Technikmarkt Kompetenzen besitzen. Der *Markt* ist hier ein überschaubares Geflecht von bekannten Technikanbietern.

> "*Der Markt ist kein Massenmarkt, sondern ein kleiner abgegrenzter Bereich. In dem Markt kennt man sich, der Markt kennt uns.*" (VI, Entwicklungsleiter: 2)

Die angesprochenen Technikhersteller entwickeln dann erste Technikkonzepte für das jeweilige Fertigungsproblem. Die konzeptionellen Vorschläge münden in *Offerten*. Nun beginnen die Technikverwender mit den Technikherstellern die Erörterung dieser *Offer-*

ten. Falls eine Entscheidung (Vertragsabschluß) zugunsten eines Technikherstellers erfolgt, bildet eine solche *Offerte* die weitere Grundlage des gemeinsamen Innovationsprojekts.[4]

Diese im folgenden als *präkontraktuell* bezeichnete Aushandlungsphase zwischen dem Techniknutzer und den Technikherstellern muß als besonders innovationsrelevant eingeschätzt werden: Hier treffen Lösungsideen unterschiedlicher Technikhersteller zusammen und konkurrieren miteinander. Die Verhandlungen sind dadurch geprägt, daß dem einen Anwender eine Gruppe von Herstellern gegenübersteht, die unterschiedliche technologische - und gegebenenfalls auch arbeitsorganisatorische - Lösungen für ein Fertigungsproblem offerieren. Anders gesagt: In einer präkontraktuellen Verhandlung zwischen einem Hersteller und dem Verwender sitzen die Konkurrenten des Technikherstellers virtuell immer mit am Verhandlungstisch. Dabei entsteht über den Kunden vermittelt ein Ideentransfer von Hersteller zu Hersteller: Bestimmte technische Lösungsvorschläge eines Anbieters werden vom Kunden aufgegriffen, um einen anderen Anbieter damit zu konfrontieren. Dieser muß sich nun dazu verhalten und versuchen, wenn er weiterhin an dem Auftrag interessiert ist, eine überzeugendere Idee zu präsentieren.[5]

Preise spielen zu diesem Zeitpunkt noch eine untergeordnete Rolle. Der Technikverwender ist hier nicht gleich vor die Entscheidung für eine Lösung gestellt, sondern nutzt jeweilige Vorzüge eines Herstellers zur Definition von Randbedingungen für die anderen. Lange Verhandlungsphasen sind insofern typisch für den Sondermaschinenbau, als es für die Hersteller gilt, *Offerten* kundenspezifisch zu entwickeln, sie in gemeinsamen Aushandlungsprozessen schrittweise zu optimieren und zu präsentieren; der Aufwand für Angebotskonstruktionen ist deshalb auch sehr hoch. Es kommt nun hinzu,

---

4 Das folgende Zitat des Werksleiters eines Schweizer Konzerns beschreibt diesen Modus sehr treffend: "*Am Anfang hatte ich fünf Bewerber. Ich habe ihnen sogar noch die Namen der anderen genannt. ... Die Vorarbeiten machen wir. Die bekommen sie und dann sollen sie mal Grobofferten machen. Aufgrund ihrer Vorschläge trennt sich die Spreu vom Weizen. Und dann geht man mit zweien bis ans bittere Ende. Das war den Herstellern auch bewußt, daß den Auftrag nur einer bekommt und es war ihnen relativ rasch bekannt, wer der andere war.*" (II_2, Werksleiter: 35)

5 In der Entwicklung von Sonderlösungen werden also nicht nur einfach via Prospekt Leistungsdaten vom Kunden verglichen, vielmehr werden Lösungsvorschläge und Ideen via Kunden von einem Hersteller auf einen anderen übertragen. Hierbei handelt es sich dementsprechend um eine Form des marktbedingten Wissenstransfers.

daß der Technikverwender selbst Erfahrungen mit bestimmten Techniken, dem organisationalen Umfeld und dem Qualifikationspotential seiner Mitarbeiter in die Verhandlungen mit einbringt. Dabei kommt es zur Diffusion von Ideen und vorhandenen Technologiekonzepten (*Push-Pull-Mix*). Entscheidungen werden dann neben dem Preis vor allem auf das Vertrauen hin getroffen, daß Leistungsversprechungen bestimmter Hersteller auch umsetzbar sind. Am Ende steht dann eine durch intensive Abstimmungsprozesse und unter der Nutzung der Hersteller-Hersteller-Konkurrenz erzielte Vereinbarung, die in einem Vertrag mündet. Mit einem Vertragsabschluß werden die wesentlichen technologischen Zielsetzungen (z.B. Umrüstzeiten, Schnittgeschwindigkeiten, Einsatzflexibilität), Preise, Liefertermine und Garantien fixiert.

In die Semantik der Selbstorganisationstheorie übersetzt: Mit der Einigung darüber, was die relevanten Variablen und deren Parameterwerte sein sollen, werden die Anfangsbedingungen eines rekursiven Innovationsprozesses erzeugt. Von Anfangsbedingungen zu sprechen bedeutet, daß die Vertragsdaten sich möglicherweise noch ändern. Und in der Tat lassen sich auch im weiteren Verlauf eines Innovationsprojekts neue Zielsetzungen, Änderungen von Parameterwerten, Modifikationen der Offerten und Vertragsinhalte und ein zunehmender Konkretisierungsgrad von zunächst allgemein fixierten Zielen feststellen, so daß die "*Vollendung der Tatsachen*" (Hack 1988) keineswegs nur als passive Umsetzung vertraglicher Fixierungen gedeutet werden kann, sondern diese vielmehr als Ausgangs- und Startpunkt eines nun beginnenden Gestaltungs- und Lernprozesses interpretiert werden kann. Die weitere Darstellung konzentriert sich nun auf die empirische Plausibilisierung dieses Konzepts.

1.3.1 Die Vorgeschichte

Der marktvermittelte Konkurrenzdruck bedeutet für den Anwender II_1 einen permanenten Rationalisierungsdruck. Dieser Umstand führt dazu, daß fortlaufend Ideen zur Senkung der Fertigungskosten entwickelt werden. Technisch kann man sich dabei nicht am Wettbewerb orientieren, das Interesse, Marktführer zu bleiben zwingt dazu, Innovationsvorsprünge zu erarbeiten. Deshalb setzt das Unternehmen auf eigene Aktivitäten zur kontinuierlichen Prozeßinnovation: Notwendige Entwicklungen werden teilweise im eigenen Unternehmen vorgenommen. Es existieren ein eigener Werkzeugbau, der neue Werkzeuge entwickelt, und ein Maschinenbau, in dem Applikationen und Zuführungen

für vorhandene Maschinen gebaut werden. Darüber hinaus existiert ein Versuchsfeld zur Erprobung neuer Bearbeitungsverfahren. Insbesondere die Zusammenarbeit zwischen dem Werksleiter, der ein umfassendes Wissen über produkt- und produktionstechnische Entwicklungen hat, und dem Werkstattleiter, der über langjährige Erfahrungen aus dem Werkzeugbau verfügt, dient der Abstimmung zwischen den maschinellen und werkzeugspezifischen Entwicklungsmöglichkeiten.

Bereits 1986 hatte das Unternehmen II_1 mit der Suche nach neuen Fertigungsmöglichkeiten zur Bearbeitung größerer Formteile begonnen. Zu jenem Zeitpunkt wurden diese auf drei konventionellen Sechsspindeldrehmaschinen in Losgrößen von 100-200 gefertigt. Den Ausgangspunkt des Innovationsprojekts bildete die Wahrnehmung, daß die Bearbeitung (Bohrzeiten) für größere Formteile zu viel Zeit beanspruchte. Man entschloß sich für die Anschaffung einer Sondermaschine:

> "*Wir wollten nur diesen Bohrprozeß auf einer Sondermaschine machen, auf einer Hochleistungsmaschine, so einem richtigen Kraftprotz, der mit einem Vollhartmetallbohrer in kürzester Zeit die Löcher reinschießt, und wir wollten über ein Handlings-System diese vorgebohrten Rohlinge unseren normalen Maschinen zuführen. Das war die ursprüngliche Idee.*" (II_1, Werksleiter: 22)

Mit dieser Vorstellung wurden verschiedene Sondermaschinenhersteller, u.a. auch Hersteller II, angesprochen und die technischen Möglichkeiten eruiert. In dieser ersten Verhandlungsphase mußte der Anwender eigene Vorstellungen mit technischen Angeboten von Herstellern in Beziehung setzen. Im Anwenderbetrieb II_1 waren zu diesem frühen Zeitpunkt der Maschinenbeschaffung bereits einige konkrete Vorstellungen über den Leistungsumfang der neuen Maschine vorhanden sowie einige technologische Parameter, etwa die zu nutzenden Verfahren und Werkzeuge, festgelegt. Doch wurden nach ersten Kontakten mit Technikherstellern und aufgrund anderer Investitionsprioritäten weitere Verhandlungen über eine Einzwecksondermaschine abgebrochen. Sehr schnell war deutlich geworden, daß mit der Entscheidung zur Bearbeitung auf mehreren Maschinen ein mehrfaches Aufspannen und damit ein Verzicht auf erhöhte Präzision verbunden war.

> "*Das war so ungefähr vor acht Jahren, das ist dann aus verschiedenen Gründen wieder eingeschlafen. Einmal weil wir das Geld dafür nicht bekommen haben und dann, weil wir irgendwie damit nicht so ganz glücklich waren. Es gab auch technische Schwierigkeiten, dahingehend, daß es eigentlich keinen Sinn macht, wenn man das Teil schon 'mal gespannt hat*

und die Löcher 'reingebohrt hat, es dann nicht auch gleich fertigzumachen." (II_1, Werksleiter: 22f.)

An dieser Stelle wurde eine neue Definition der Innovationsziele notwendig. Den Ausgangspunkt stellte weiterhin das Problem der Bearbeitungsdauer der Formteile dar; hinzu kamen die Notwendigkeit der Ersatzinvestition, die Erhöhung der Flexibilität der Fertigung und der Lagerhaltung, gestiegene Anforderungen an die Produktpräzision und Automatisierungsbestrebungen.

"*Der Gedanke der Bearbeitung in einer Aufspannung ist dann später gekommen. Dann waren wir wieder bei dem Ausgangspunkt.*" (II_1, Werksleiter: 22)

Festzustellen ist hier, daß die Planung scheinbar neu begonnen wurde. Aber nur scheinbar: Bei den ersten Verhandlungen mit den Sondermaschinenherstellern hatte ein Konkurrent vom Hersteller II ein Konzept vorgestellt, mit dem die Bearbeitung in einer Aufspannung möglich war. Zwar bestand dort nur ein Entwicklungsprojekt, der Hersteller beabsichtigte aber eine Serienmaschine zu entwickeln, die den technologischen Parametern der später realisierten Lösung von Hersteller II sehr nahe kam. Damit wurde über die Hersteller-Hersteller-Konkurrenz eine Referenz für die weiteren Innovationsabsichten erzeugt.

"*Uns war eine Lösung von der Firma X angeboten worden, die doch sehr ähnlich war. Die haben aber hinterher das Ganze selber im eigenen Hause verworfen. Die hätten erst die Module entwickeln müssen, die man zusammenstellen konnte. X ist dann damals von einem großen Konzern übernommen worden und der hat das dann alles gestoppt.*" (II_1, Werksleiter: 16)

Mit der vom Unternehmen X angebotenen Lösung lag ein neues Maschinendesign vor, das nun das Unternehmen II_1 zur Grundlage für die weitere firmeninterne Planung machte. Damit konnte nicht nur die ursprüngliche Intention der klar abgegrenzten Prozeßinnovation, sondern darüber hinaus konnten noch weitergehende Ziele verfolgt werden. Ein wichtiger Aspekt bei der Entwicklung dieser neuen Innovationsziele waren Erfahrungen im Anwenderbetrieb mit eigenen Entwicklungen; bei der Planung des Maschineneinsatzes hatte die Arbeitsvorbereitung eine neue Schwachstelle aufgedeckt. Es ging dabei um die Umrüstzeiten kurvengesteuerter Standardmaschinen, die z.T. bereits dreißig Jahre alt waren.

"*Wurde eine Maschine umgerüstet, dann hatte die von einem Teil zu einem anderen eine Rüstzeit zwischen fünf bis acht Stunden, weil viele Werkzeuge neu rein mußten, also eine totale Umstellung vorgenommen werden mußte.*" (II_1, Arbeitsvorbereitung, Angestellter: 9)

Vorgeschlagen wurde die Nutzung von Werkzeugmagazinen, um die Umrüstzeiten zu verkürzen. Diese wurden betriebsintern entwickelt. Demnach sollte das Einrichten der Werkzeuge außerhalb der Maschine vorgenommen werden, um so die Umrüstzeiten drastisch zu verkürzen. Mit der Verkürzung der Umrüstzeiten wurde einerseits eine verbesserte Ausnutzung der Maschinen, andererseits die Produktion nach Bedarf mit der Folge der Reduzierung der Lagerhaltung in Aussicht gestellt. Da das Teilespektrum von II_1 mehr als 40.000 Teile umfaßt, von denen allerdings nur 20.000 regelmäßig nachgefragt werden, entstanden gerade in der Lagerhaltung entsprechend hohe Kosten.

Die Flexibilisierung der Produktion als ein wichtiges Rationalisierungsziel wurde zunehmend durch den Controller des Unternehmens in den Vordergrund gestellt. Ausschlaggebend waren hier geänderte Kundenanforderungen. Ein weiteres wichtiges Rationalisierungsziel stellte die Automatisierung der Produktion dar, mit der weniger anspruchsvolle Arbeitsgänge ersetzt wurden, um Arbeitskräfte einzusparen.

Das Rationalisierungsziel des Technikverwenders gewann nun eine neue Gestalt, es wurde nun in verschiedene Automatisierungs- und Flexibilisierungsanforderungen übersetzt. Dazu zählte der Einsatz neuer Fertigungsmaschinen und -verfahren, die Optimierung von Maschinen und Werkzeugeinstellungen und die Reduzierung von Produktionszeiten durch organisatorische Einrichtungen sowie die Automatisierung. Das ursprüngliche Ziel der Prozeßinnovation im engeren Sinne wurde durch das Ziel, die Flexibilität zu erhöhen, ergänzt, das nicht nur auf ökonomische Parameter abstellt, sondern auf spezifische Marktanforderungen und die Steigerung betriebsinterner Optionen.

Als ein besonderes Merkmal ist hier zu beachten, daß eine Reihe von Innovationen im Anwenderbetrieb II_1 selbst entwickelt und umgesetzt wurden; die Ideen dazu kamen aus verschiedenen Abteilungen. Die notwendigen Informationen zur technischen Realisierbarkeit waren unterschiedlichen Ursprungs: Genutzt wurden die üblichen Wege der Verbreitung technischer Verfahren, d.h. Fachmessen, Angaben von Maschinen- und Werkzeugherstellern, konzerninterne Fertigungserfahrungen und der Austausch mit anderen Fertigungsbetrieben. Die Ergebnisse eines solchen Innovationsmusters sind häufig ebenso das Resultat dauernder Suche wie zufälligen Entdeckens, die ihre

Orientierung aus den intern wahrgenommenen Problemen und den extern vorhandenen Möglichkeiten beziehen. Diese Konkretisierung durch den Anwender stand auch am Beginn des nun neu definierten Beschaffungsfalles.

Festhalten läßt sich, daß die Re-Definition der Innovationsziele anhand eines Maschinendesigns vorgenommen wurde, das bereits einige wesentliche Aspekte der später verwirklichten Maschine enthielt. Es wurde der Versuch unternommen, nicht nur die Ablehnung des ursprünglichen, weitaus bescheideneren Projekts einer Einzweck-Sondermaschine zu kompensieren, sondern darüber hinaus auf eine Technik abgestellt, die aufgrund ihrer technischen Charakteristika bei der Konzernleitung auf Interesse stoßen sollte. Diese mikropolitische Konstellation ist deshalb besonders wichtig, weil damit die Rahmendaten für die technischen Verhandlungen abgesteckt wurden. Technisch einfachere Lösungen wurden zwar noch erwogen, hatten ihren Sinn aber weniger als reale Beschaffungsalternativen, sondern überwiegend in der notwendigen routinemäßigen ökonomischen Kalkulation.

1.3.2 Verhandlungsaktivitäten

Die oben genannten Innovationsziele wurden von einem Projektteam erarbeitet, das im wesentlichen aus dem Werkstattleiter und dem Werksleiter bestand. Sie legten die Rahmendaten fest, mit denen die Werkzeugmaschinenhersteller konfrontiert werden sollten; man orientierte sich an dem Leistungsspektrum des Konzepts von Hersteller X. Das Abstraktionsniveau war auf dieser Stufe noch sehr hoch; es waren zwar die spezifischen Planungsparameter festgelegt worden, das zu wählende Fertigungsverfahren war aber noch offen.

> "*Wir hatten natürlich Gespräche mit verschiedenen Herstellern und haben uns deren Maschinenkonzepte angesehen und auch die Einsatzmöglichkeiten. Da waren zwei ein bißchen für unsere Belange speziell zugeschnittene Standardmaschinen. Dann standen noch drei andere zur Auswahl. Dann war die Überlegung, ob man eventuell doch eine einfache Drehmaschine nimmt oder eine Standarddrehmaschine, davon dann eben mehrere. Das waren also fünf verschiedene Fertigungsverfahren.*" (II_1, Werksleiter: 14f.)

Die präkontraktuellen Verhandlungen waren in erster Linie technologisch dominiert, es ging um die Suche nach einer Problemlösung, bei der die Möglichkeiten der Maschinen mit den Bearbeitungsanforderungen in Deckung gebracht werden sollten. Die technolo-

gischen Anforderungen waren wesentlich durch die zu bearbeitenden Werkstücke konditioniert. Bezogen auf diese Werkstücke sollten nun die Hersteller ihre Technikkonzepte entwickeln. Ein Problem der Gespräche zwischen Herstellern und Anwender war, daß die Hersteller nicht vollständig über die speziellen Fertigungsanforderungen des Anwenders informiert sein konnten, der Anwender seinerseits keinen umfassenden Einblick über die Maschinenpotentiale der Hersteller hatte. So wurden mehrmalige Besichtigungstermine zwischen den Technikherstellern und dem -anwender notwendig:

> "*Wir haben mindestens einmal alle Anbieter besucht und auch hier bei uns im Betrieb Gespräche geführt. Das geht auch gar nicht anders, weil man auf dem Papier zwar einiges erkennen kann, aber nicht alles und viele wesentliche Dinge dabei übersieht. Da muß man einfach vor Ort eine Maschine sehen, falls sie überhaupt da ist. Die Maschine von II konnte man nicht sehen. Die gab es nicht, es gab aber eine bei Hersteller Y, dann gab es die von der Konkurrenzfirma, eine nicht vollständige Maschine, aber einen Teil so einer eventuellen Maschine. Und dann überlegt man, wie man die variieren muß. Und man läßt sich, wenn es eben möglich ist, irgendwelche Teile vorführen. Es müssen nicht die gleichen sein, aber wenigstens ähnliche. Oder man läßt sich überhaupt eine Zerspanung vorführen. Den ganzen Ablauf dieser Maschine. Daraus kann man sich erst ein Urteil bilden oder Rückschlüsse ziehen und auch weiter durchdenken.*" (II_1, Werkstattleiter: 5)

Diese Verhandlungsphase, die durch Demonstrationen und die Besichtigung von Referenzprodukten angereichert wurde, bedeutete für den Anwender bei steigender Konkretisierung eine Zunahme an Wissen über die Innovationspotentiale der jeweiligen Hersteller. Erst in dieser Aushandlungsphase wurde durch das Projektteam die Entscheidung für ein bestimmtes Maschinenkonzept getroffen.

> "*Wir haben also eine Maschine gesucht, die recht flexibel einsetzbar ist und trotzdem die Teile in kurzen Zykluszeiten herstellen kann. Das steckte im Kern dahinter. Und zwar sollte die Maschine in der Lage sein, dieses Teil komplett fertig zu machen, ohne irgendwelche Nacharbeiten.*" (II_1, Werksleiter: 9)

Der Technikverwender nutzte diese präkontraktuellen Verhandlungen, also auch die Hersteller-Hersteller-Konkurrenz, um ein in technologischer und organisatorischer Hinsicht möglichst kontextsensitives Lösungskonzept für seine Fertigungsprobleme zu erzielen. Der Technikverwender war hier nicht gleich vor die Entscheidung für eine Lösung gestellt, sondern nutzte die Erörterung von alternativen Maschinendesigns der Hersteller zur Präzisierung seiner Innovationsziele. Wie das folgende Zitat heraushebt, werden durch die intensiven Aushandlungsprozesse interaktiv bestimmte Lösungen

ausgeschieden, andere favorisiert und sukzessive die Anfangsbedingungen (Leistungsdaten, Taktzeiten, Funktionsumfang usw.) für das dann mit einem Technikhersteller zu startende Innovationsprojekt festgelegt:

> "*Also, als Anwender muß man sich erst einmal langsam in das Ganze hineindenken und sich verschiedene Alternativen aufzeigen lassen von den Herstellern. Nach und nach werden die Alternativen quasi ausgeschieden. Wir haben uns dazu entsprechende Diagramme gemacht und haben dann diese ganzen Forderungen, die wir hatten, was so eine Maschine können muß, alle aufgeschrieben. Funktionsumfang und zu erwartende Fertigungs- oder Taktzeiten dienten dazu, die Maschine auszuwählen, die die größten Pluspunkte hatte.*" (II_1, Werksleiter: 16)

Zu Beginn der Offertenphase war auf Seiten des Technikherstellers im wesentlichen nur der Vertrieb involviert. Zuerst war für den Technikhersteller nicht mehr bekannt als der Umstand, daß das Unternehmen II_1 für ein Fertigungsproblem nach einer Lösung sucht, die im Bereich des eigenen Produktsegments liegt.[6] Bei der ersten Kontaktierung wurden die Anforderungen und Lösungen noch nicht konkret formuliert. Bekannt wurden nur basale Bedingungen, etwa zu bearbeitende Werkstücke, zu erzielende Taktzeiten, Werkzeugwechseltakte etc. Nun mußte zunächst entschieden werden, ob der Technikhersteller eine Offerte machen will und ob der Technikverwender nach Kenntnis der Offerte konkrete Gespräche anstrebt.

Die weiteren Verhandlungen waren durch einen höheren Konkretisierungsgrad gekennzeichnet. An dieser Stelle erfolgten bereits Nachfragen an die anderen Funktionsabteilungen, beim Technikhersteller wurden die Entwicklungs- und Konstruktionsabteilung, die Elektroniker und auch die Fertigungs- und Montageleiter miteinbezogen. Das Ziel war hier, die spezifischen Möglichkeiten des Herstellers so auf die Anforderungen des Technikverwenders zuzuschneiden, daß weitere Entscheidungen ermöglicht wurden. Beim Technikhersteller waren davon diejenigen Bereiche betroffen, die einen besonderen konstruktiven, fertigungs-, steuerungs- oder montagetechnischen Aufwand erforderten, beim Technikverwender die Kompatibilität von elektronischen Steuerungen mit anderen Steuerungen (CAD/CNC-Kopplungen), die Qualifikation des Werkstattpersonals und die Möglichkeiten präventiver Instandhaltung. Dazu mußte der

---

6 Ganz allgemein können solche Informationen aus unterschiedlichen Quellen stammen. Gebietsvertretungen etwa können den Kontakt zu einem Technikverwender herstellen, möglich ist auch, daß der Vertrieb selbst an Kunden herantritt oder daß über den Service Informationen kommen.

Vertrieb des Technikherstellers seine Kenntnisse der Fertigungsanforderungen des potentiellen Nutzers vertiefen. Möglich wurde an dieser Stelle auch schon, beratend in die Fertigungsorganisation des Nutzers einzugreifen, etwa durch Vorschläge zur Fertigungsorganisation und zu speziellen Schulungen der Mitarbeiter. Zu diesem Zeitpunkt konkurrierte der Technikhersteller noch mit alternativen Ideen der Wettbewerber.

> "*Wir können Ideen entwickeln, wir können kreativ sein, uns muß etwas Besseres einfallen als dem Wettbewerb. Dann haben wir einen Vorteil.*" (II, Vertriebsleiter: 7)

Erzielt wird ein solcher Vorteil über die Funktions- und Leistungsversprechungen des Herstellers, die vor dem Hintergrund einer gewissen Preisspannbreite bewertet werden. In dieser Wettbewerbssituation werden die Anforderungen des Technikverwenders und die alternativen Angebote mit dem eigenen Vorschlag innovativ kombiniert. Damit verknüpft war für den einzelnen Hersteller allerdings ein hohes konstruktives Risiko, da Zusagen über bestimmte Entwicklungen nur unter Unsicherheit und mit dem Rückgriff auf Erfahrungen vorgenommen werden konnten. Ökonomische und zeitliche Kalkulationen des Herstellers stellten weitere Entscheidungen unter Unsicherheit dar, deren Minimierung wiederum durch Erfahrungswissen auf allen Ebenen des Herstellerbetriebes geleistet werden muß.[7]

Auffällig im hier betrachteten Innovationsfall ist, daß in dieser präkontraktuellen Phase insbesondere technische Parameter verhandelt wurden, nicht aber notwendige (arbeits-) organisatorische Innovationen im Unternehmen II_1. Die alternativen Angebote wurden primär auf ihre technische Umsetzbarkeit hin hinterfragt und geprüft. Für den Technikverwender lag die Funktion dieser Phase insbesondere in der Minimierung des technisch-finanziellen Risikos. Arbeitsorganisatorische Fragen kamen erst zu einem späteren Zeitpunkt in den Blick.

---

7 So bietet zwar die Zurechnung von Arbeitsleistungen auf bestimmte Maschinen bzw. bearbeitete Teile einen Ansatzpunkt für die Kalkulation, doch bleibt diese unvollständig, u.a. deshalb weil bei vielen Neuteilen keine Erfahrungswerte über die Fertigungs- und Montagezeiten vorliegen. Datensammlungen ermöglichen zwar einen Vergleich der Vorkalkulation mit den während der Fertigung ermittelten Werten. Allerdings ist dieses Verfahren nicht so aussagekräftig, daß auf die Nutzung von persönlichen Erfahrungswerten bei Preisfestsetzungen verzichtet werden könnte. Im Grunde weiß Hersteller II immer erst nach der Produktion einer neuen Maschine, ob sich der Auftrag gelohnt hat.

> *"Wenn sich aus der Projektierung heraus eine besondere Aufgabenstellung ergeben hat, dann ist diese Aufgabenstellung an bestimmte Fachbereiche, die uns dann die Probleme gelöst haben, weitergetragen worden. Das waren im wesentlichen sozusagen Tests, ob etwas überhaupt so geht. Bevor man für so eine Maschine soviel Geld ausgibt, muß man erst 'mal sicher sein, daß die geplanten Fertigungsverfahren auch wirklich funktionieren."* (II_1, Werksleiter: 19)

Zu diesem Zeitpunkt verhandelten die technischen Abteilungen des Anwenders noch mit drei Herstellerbetrieben.[8] Die angebotenen Baukastenlösungen wurden in einem Bewertungsverfahren verglichen: Da die technologischen Parameter durch die (Vor-)Entscheidungen des Anwenders weitgehend festgelegt waren - im Gespräch war jetzt ein CNC-Bearbeitungszentrum mit bestimmten Werkzeugen und Verfahren - ging es darum, Defizite zu finden. Ein Hersteller schied hier aus, weil durch seinen Maschinenaufbau der Abtransport von Spänen schwierig war. Die beiden verbliebenen Lösungen wurden als technisch identisch angesehen; den Ausschlag, sich für einen dieser Hersteller zu entscheiden, ergaben dann einerseits die Umstände, daß mit dem Hersteller II bereits gute Geschäftsbeziehungen bestanden, andererseits die räumliche Nähe der Unternehmen und nicht zuletzt der Faktor, daß Hersteller II dafür bekannt ist, Maschinen mit hohen Leistungsreserven zu bauen, wodurch zusätzliche Nutzungsoptionen möglich wurden.

> *"Wir haben mit einem anderen Projekt Erfahrungen mit Hersteller II gemacht, die sich auf die Zuverlässigkeit der Maschine selbst beziehen. Und auf die Stabilität: Das ist eine sehr leistungsstarke Maschine, die hat Reserven, ist nicht zu knapp dimensioniert. Das sind ja immer Stellen, an denen Maschinenhersteller auch was einsparen können. Das überblickt man eben als Anwender auch nicht so, wir sind ja keine Maschinenbauer und stecken nicht so im Detail drin. Die bauen sehr stabile Maschinen und das hat uns bei diesem Projekt eben doch geholfen. Man kann mit sehr hohen Schnittgeschwindigkeiten an die Sache rangehen und die führt wiederum zu kostengünstigen Verfahren und auch zu einer hohen Oberflächenqualität."* (II_1, Werksleiter: 10)

Solche Verhandlungsphasen sind im allgemeinen transaktionskostenintensiv; für den Anwender gilt es nicht nur, Informationen aufzubereiten und Lösungen zu begutachten, sondern auch, das technische Risiko zu minimieren. Vorversuche wurden in diesem Fall erst zu dem Zeitpunkt der Festlegung auf einen Hersteller unternommen.

---

8 Die beiden anderen Technikhersteller, die anfänglich noch mit im Gespräch waren, schieden relativ schnell aus, da deutlich wurde, daß sie als Serienfertiger nicht in der Lage waren, sämtliche Innovationsziele des Unternehmens II_1 zu realisieren.

"Wir haben uns dann mehr oder weniger auf einen Lieferanten eingeschossen und das Ganze stärker konkretisiert. Die mußten ja auch Arbeit da 'rein stecken und das ist ja auch immer mit Kosten verbunden. Wir hatten ja noch nichts bestellt. Es ging eigentlich darum, daß wir einen konzeptionellen Lösungsansatz sehen wollten. Und erst als wir das Gefühl hatten, daß es so gehen könnte, haben wir ein paar Vorversuche gemacht." (II_1, Werksleiter: 15)

Gegen Ende der Aushandlungsprozesse spielten Preise eine größere Rolle, der Technikverwender benutzte wiederum die Hersteller-Hersteller-Konkurrenz, um einen günstigen Preis auszuhandeln. Die zuletzt offerierte Angebotskonstruktion, welche die Kalkulation der Planungsparameter und Preise enthielt, wurde zum Gegenstand eines intensiveren innerbetrieblichen Austausches beim Hersteller. Der Vertrieb griff in dieser Verhandlungsphase auf Erfahrungen mit bereits gelieferten Maschinen zurück. Es wurden Ähnlichkeitsrelationen hergestellt:

"Die Vorkalkulation setzt sich aus ähnlichen Teilen zusammen. Wenn der Vertrieb zu mir kommt und fragt, wieviel Stunden wir für so eine Maschine brauchen, dann schlüsselt sich das immer auf: 'Was muß die denn können, wie genau muß sie sein, dann: mit welcher Maschine ist sie zu vergleichen?' Das ist also ganz wichtig. Der sagt dann: 'Ja das ähnelt ungefähr der Maschine, aber man muß dann noch zuzüglich das oder das dazurechnen.' Dann blättern wir erstmal auf, was wir gehabt haben, an der vergangenen Maschine und versuchen dann draufzurechnen, was noch draufzurechnen ist." (II, Montageleiter: 5)

Der Aufwand in einer präkontraktuellen Phase läßt sich nicht immer konkret beziffern. Das Risiko, hier konstruktiven Aufwand zu betreiben, der nicht mit einem Vertragsabschluß endet, ist hoch. Im Unternehmen II wird damit gerechnet, daß ungefähr 90% dieser Leistungen erbracht werden, ohne daß ein Vertragsabschluß erfolgt. Im hier präsentierten Innovationsfall II_1 war dies besonders illustrativ:

"In diesem Fall haben wir 1.000 Stunden aufgewendet, um das Angebot zu erstellen. Was meinen Sie, wie oft das umgeschmissen wurde. Und dann ist ja der schöne Wettbewerb auch noch da. Der sagt ja: 'Das können wir so und so machen.' Und dann gibt es wieder ein Gespräch und wieder wird alles umgeschmissen und dann sagt der: 'Ich kann es aber billiger.' So entwickelte sich das." (II, Konstruktionsleiter: 6)[9]

---

9 Für den Fall, daß ein Wettbewerber den Zuschlag für eine Maschine bekommt, über die der Hersteller selbst Verkaufsverhandlungen geführt hat, wird die Möglichkeit gesucht, die anwenderfavorisierte Lösung mit der eigenen zu vergleichen, um Rückschlüsse ziehen zu können. *"Immer wieder interessant ist es, wenn uns ein Auftrag verloren geht, möglichst das Produkt zu sehen. Zu sehen, wie die das nun gelöst haben. Und auch mit den Leuten reden, wie die denn damit zufrieden sind. Das machen wir und das machen sicher alle anderen auch."* (II, Montageleiter: 49)

Über jene Konstrukteure, die als Projektleiter mit dem Kunden und mit Zulieferern im direkten Kontakt standen, wurden weitere Informationen eingeholt. So war beim Hersteller II die Möglichkeit, Maschinenbeschickungen durch Roboter durchzuführen, in fremden Werkstätten beobachtet worden. Insbesondere das Vertrauensverhältnis zu bestimmten Technikverwendern ermöglichte hier, technische Details zu evaluieren und bestimmte Trends in eigenen Konstruktionen aufzunehmen.

Mit dem Zuschlag durch II_1 stand am Ende der Verhandlungen ein Vertrag fest. Wesentliche Informationen waren nun im Vertrag fixiert: Bearbeitungszeiten, Zeiten für den Werkzeugwechsel und deren Umfang, Maschinenverfügbarkeiten, Termine für Maschinenübernahmen, das zu bearbeitende Teilespektrum usw. Den ausgehandelten und fixierten Variablen waren nun in Form von Preisen, Drehzahlen, Zeitvorgaben, Materialqualitäten, Liefertermine, Gewährleistungsmodalitäten usw. *Parameterwerte*, zugeordnet.

> "*Und das Endergebnis war dann also ein Angebot von uns, ein sehr ausführliches, detailliertes, ein Ordner voll. Das waren, glaube ich, 160 Seiten Angebot und 12 Zeichnungen und das war praktisch das Endresultat (der Vertrag, U.K.).*" (II, Vertriebsleiter: 22)

Doch die Maschine war nur im Prinzip festgelegt, viele Details noch vorläufig, für bestimmte Bauteile existierten noch gar keine Entwürfe und der Preis war nur - wie eben herausgestellt - nach Erfahrungswerten kalkuliert.

> "*Jedes Detail war technisch noch nicht gelöst. Trotz alledem müssen wir konkrete Festpreise festlegen. In der Realisierung liegt es dann bei uns, ob man bei gewissen Positionen einsparen kann und bei gewissen Positionen mehr Geld ausgeben muß. Das ist unser Risiko.*" (II, Vertriebsleiter: 22)

Zusammenfassend soll festgehalten werden: Bis zu diesem Zeitpunkt des Innovationsfalles waren die präkontraktuellen Verhandlungen durch die Bedürfnisse des Technikverwender geprägt worden. Für seine Prozeßinnovation kombinierte er betriebsinterne Erfahrungen mit Bearbeitungsverfahren, Werkzeugen und Rationalisierungen (etwa die eigene Entwicklung von Werkzeugwechslern) und frühere Verhandlungsergebnisse (das paradigmatische Maschinendesign von X) mit den Alternativvorschlägen der Hersteller. Temporäre Fixierungen führten zum Ausgangspunkt jeweilig neuer Entscheidungen. Die Technikhersteller erzeugten potentielle Problemlösungen (*Offerten)* auf der Grundlage eigenen Know-hows; diese wurden unter Berücksichtigung der Angebote der Kon-

kurrenz weiter modifiziert und in gemeinsamen Problemspezifikationen mit dem Technikverwender konkretisiert. Durch eine innovative Kombination der genannten Schritte wurden sukzessive diejenigen Anfangsbedingungen durch die involvierten Akteure festgelegt, mit denen das gemeinsame Innovationsprojekt weiter verfolgt werden sollte. Die Technikhersteller sind dementsprechend aktiv am Auffinden einer kontextspezifischen Lösung beteiligt, sie liefern die Entscheidungsgrundlagen für den Technikverwender, mit welchem Hersteller nun die Realisierung der Innovation begonnen werden soll. Die strukturelle Dimension dieses Prozesses wird weiter unten als Aufbau eines Innovationsnetzwerkes interpretiert. (Vgl. Kap. IV, Abschnitt 3)

Mit dem Vertragsabschluß ist die präkontraktuelle Phase abgeschlossen, es beginnt nun die Konstruktionsphase, in der eine in wesentlichen Bestandteilen festgelegte Lösung konstruktiv umgesetzt werden muß. Unter Einbezug der Anwenderbedürfnisse und -bedingungen erfolgt nun die weitere Konkretisierung. Im weiteren geht es um die fertigungstechnische Realisierung, die Montage und schließlich, nach der Inbetriebnahme, um die Implementation. Diese Innovationsaktivitäten werden nun weiterverfolgt.

1.4 Rekursive Technikentwicklung: Dynamische Abhängigkeiten

Mit dem Vertragsabschluß - in der hier gewählten Terminologie die Erzeugung der Anfangsbedingungen - ist eine erste Fixierung der Innovationsaktivitäten abgeschlossen. Die rechtliche Konditionierung - der Vertrag - kann als Setzen einer Randbedingung gelten, unter der es nun gilt, in vertrauensbasierter Kooperation weiterhin vorhandene Kontingenzen des Innovationsprozesses zu reduzieren. Der Vertrag fixiert zum einen die präkontraktuell ausgehandelten Anfangsbedingungen, wie Leistungsdaten, Taktzeiten, Funktionseigenschaften, Liefertermine, d.h. er fixiert ein Datum eines Technisierungsprojekts; zum anderen fixiert er ökonomische und juristische Bedingungen für die Erfüllung bzw. das Scheitern dieses Technisierungsprojektes. Mit dem Vertragsabschluß kommt es nun darauf an, die gemeinsam vereinbarten Ziele in praktische Lösungen zu transformieren. Dazu müssen die Kontakte zwischen Hersteller und Verwender nochmals intensiviert werden. Die noch variable Geometrie des weiteren Innovationsprozesses resultiert analytisch aus folgenden unterscheidbaren Unsicherheitsdimensionen:

- der Konstruktionsphase, in der nun die zeichnerische Umsetzung einen steigenden Konkretisierungsgrad erfahren soll;
- der fertigungs- und montagetechnische Realisierungsphase, in der sich dann die Praktikabilität der Konstruktionszeichnungen erweisen muß;
- der Inbetriebnahme, wo sich die Funktions- und Leistungsfähigkeit der neuen Maschine zeigen müssen, und
- der Implementationsphase, in der sich die kontextspezifische Lösung bewähren muß.[10]

Mögliche Änderungen von Zeichnungen, neue fertigungstechnische Anforderungen, Montagemodifikationen oder Probleme während der Inbetriebnahme oder der Implementation fordern intensive Abstimmungsprozesse zwischen den Vertragspartnern und resultieren häufig in neuen Zielsetzungen, Vereinbarungen und Festlegungen. Diese rekursiven Kooperations- und Kommunikationsprozesse werden mit dem der Selbstorganisationstheorie entlehnten Begriff der *dynamischen Abhängigkeit* erklärt. Dies meint, daß Änderungen von Parameterwerten und Prozeßzielen nicht selten weitere Änderungen nach sich ziehen, die entsprechend hohe Anforderungen an die beteiligten Akteure stellen, Anforderungen die nur in intensiver Kooperation bewältigt werden können.[11] In allen Phasen sind deshalb weitere Kommunikationsprozesse zwischen Hersteller und Nutzer notwendig. Unterschiedliche Rationalitäten und Praxisanforderungen werden hier immer wieder abgeglichen, d.h. die dynamischen Abhängigkeiten im Technisierungsverlauf erfordern eine Prozeduralisierung von Innovation.

Bezeichnend für den hier verfolgten Innovationsfall II_1 ist allerdings, daß wesentliche Abstimmungsprozesse zwischen Anwender und Hersteller in einer für den Sondermaschinenbau eher untypischen Weise - vermeintlich - überflüssig waren. Die wesentliche Ursache dafür bildete das Vorhandensein einer schon früher entwickelten Maschine, die von Hersteller II in enger Zusammenarbeit mit dem Anwender II_2 entwikkelt wurde. Diese Maschine konnte noch während der vorvertraglichen Phase durch den

---

10 Empirisch müssen diese Phasierungen nicht immer gegeben sein, vielmehr sind Überschneidungen und simultane Abläufe, etwa im *simultaneous engineering* beobachtbar.

11 Nicht ausgeschlossen werden kann der denkbare, aber empirisch seltene Fall einer problemreduzierten, reibungslosen und unter Umständen deshalb kommunikationsärmeren Transformation von der gemeinsam vereinbarten Idee zum erfolgreich funktionierenden Produkt. Hier spielen technologische und betriebswirtschaftliche Unsicherheiten sowie jene, die aus der Zeitdimension eines Innovationsfalles resultieren, eine entscheidende Rolle.

Anwender II_1 als Referenzmodell begutachtet werden und diente beiden Seiten wesentlich zur Unsicherheitsreduktion.

> *"Es gab während der Verhandlungen eine Maschine, die konnte man mit unserer (angestrebten Lösung, U.K.) gleichsetzen, die hat zwar vollkommen andere Teile bearbeitet, war aber von den Bearbeitungseinheiten her gleich, nur eine Dimension größer. Die haben wir auch bei II_2 gesehen."* (II_1, Werkstattleiter: 8)

Auf der Herstellerseite korrelierte dies mit der Annahme, daß nur geringe technische Probleme zu erwarten seien, da man glaubte, ausreichend auf Vorerfahrungen zurückgreifen zu können. Damit war ein für den Sondermaschinenbau eher untypischer Fall gegeben, nämlich die Möglichkeit, über einen Baukasten hinaus zum größeren Teil auf komplette Konstruktionen zurückzugreifen. Zunächst hatte man gedacht, die notwendigen Anpassungen allein über die Software lösen zu können. Doch sehr bald wurde deutlich, daß die kontextspezifischen Anforderungen von II_1 einen größeren Aufwand erforderten:

> *"Die Maschine für II_2 hat bei den lang laufenden Verhandlungen mit II_1 einen wichtigen Impuls gesetzt. An der Stelle konnte man übertragen, hatte also eine sehr günstige Situation. Aber die Pläne konnten trotzdem nicht einfach aus der Schublade gezogen werden. Da war eine Menge an werkstück- und werkzeugspezifischen Problemen zu lösen. Mit der Programmierung allein war nicht alles zu lösen."* (II, Konstrukteur: 2)

Hier trafen also zwei Tendenzen aufeinander: Für den Hersteller war es möglich, seinen konstruktiven und fertigungstechnischen Aufwand zu reduzieren, für den Technikverwender bestand die Möglichkeit, sich für eine Sondermaschine zu entscheiden, die in wesentlichen Funktionsbestandteilen schon existierte und beobachtbar war. Daraus resultierte allerdings auch die Erwartung des Anwenders, eine im wesentlichen technisch durchkonstruierte Maschine nach Anpassung an die speziellen Werkstücke und Werkzeuge zu beziehen, ohne die für den Sondermaschinenbau typischen längeren Erprobungsphasen einkalkulieren zu müssen. Hinzu kam, daß die konzernintern erfolgreiche Strategie, für eine technisch komplizierte und hoch entwickelte Maschine zu votieren, einerseits erfolgreich war, andererseits aber auch einen hohen Erwartungsdruck erzeugte. Wie noch gezeigt wird, resultierten aus dieser Ausgangssituation unerwartete Probleme, die die Akteure vor gänzlich neue Herausforderungen stellte.

Bevor nun die einzelnen Etappen des Innovationsfalles weiterverfolgt werden,

wird eine kurze Übersicht über den gesamten Prozeß gegeben. Der Kaufvertrag wurde 3/91 unterschrieben, das Lieferdatum 5/92 konnte wegen auftretender Kapazitätsprobleme des Herstellers nicht eingehalten werden. Die Maschine wurde 8/92 ausgeliefert, die Endabnahme erfolgte in 3/93. Zum Zeitpunkt der Interviews in 1/93 im Anwenderbetrieb II_1 befand sich die Maschine in der Optimierungs- und Programmierphase. Sowohl beim Hersteller als auch beim Anwender herrschte Krisenstimmung. Für den Hersteller bestand deren Ursache darin, nicht eindeutig die Ursache für die mangelnde Funktion der Maschine ermitteln zu können. Der Anwender befand sich in einer schwierigen Lage, da die Maschine noch keine stabilen Prozesse ermöglichte. Den Hintergrund dafür bildeten die eben herausgestellten divergierenden Annahmen über den Implementationsmodus des technischen Artefaktes, das aufgrund seines komplexen Designs unterschiedliche Anpassungen notwendig machte. Zur Lösung technischer und organisatorischer Probleme galt es nun, eine Situation als *experimentelle Implementation* zu definieren, d.h. einen sozialen Raum zur fehlerfreundlichen Technikeinführung zu schaffen.

1.4.1 Konstruktionsaktivitäten

Auf den ersten Blick lassen sich Konstruktionsaktivitäten sowohl personell als auch räumlich klar zuordnen. Es sind die Techniker und Konstrukteure, die in den technischen Büros bzw. Konstruktionsabteilungen die vertraglich vereinbarten Leistungen in Form von Konstruktionszeichnungen fixieren und damit die Voraussetzungen für die spätere Herstellung der Technik erbringen. Demgegenüber zeigen die empirischen Analysen ein differenzierteres Bild. Die Konstruktionsaktivitäten erfordern innerbetriebliche Kooperationsprozesse zwischen Vertrieb, Konstruktion, Fertigung und Montage und sie implizieren intensive Abstimmungsprozeduren zwischen den beteiligten Netzwerkakteuren (Hersteller, Techniknutzer, Zulieferanten). Eine generelle Anforderung besteht darin, die ausgehandelten (expliziten und impliziten) Vertragsbestandteile in die jeweils eigene Organisation rückzubinden. Beachtet werden müssen insbesondere die nichtvertraglichen Bestandteile von Verträgen, denn nicht alles, was zwischen den in den präkontraktuellen Verhandlungen beteiligten Akteuren ausgehandelt und festgelegt worden ist, geht in Verträge ein und kann als gesichertes Organisationswissen gelten. Notwendig ist dementsprechend, daß die beteiligten Akteure an den Grenzstellen

der Organisation die Ergebnisse ihrer Aushandlungsprozesse in die jeweils eigene Organisation rückübersetzen.[12]

Während der Konstruktion ergab sich mehrmals die Notwendigkeit, mit dem Kunden zu verhandeln, beispielsweise als sich herausstellte, daß Teile des ursprünglichen Designs (der festgelegten Variablen) nicht realisierbar waren.

> *"Es hat sich herauskristallisiert, daß diese Maschine so nicht aufgestellt werden kann. Jetzt haben wir die ganze Maschine um 180° gedreht. Das sind alles so Punkte, es hat sich erst in der Konstruktion ergeben, daß das gar nicht funktionieren kann, was im Vorstadium oder in den ganzen Verkaufsgesprächen festgelegt worden ist. Aber so flexibel muß man sein und muß sagen: 'Komm, die Maschine kann so nicht stehen.' Oder 'Die müssen wir um 90° drehen.' Oder: 'Das geht nicht, weil die Bühne zu niedrig ist.' Dann wird das geändert."* (II, Konstruktionsleiter: 18f.)

Eine weitere Variable, die häufig zu nachträglichen Veränderungen führt, stellen die zu bearbeitenden Werkstücke dar. Solche Änderungen sind insbesondere dann wahrscheinlich, wenn die Produktzyklen zwischen dem Technikhersteller und -anwender stark voneinander abweichen. Während der Realisierung eines vereinbarten Innovationsprojekts können sich neue marktbedingte Produktanforderungen für den Techniknutzer ergeben, so daß dieser post-kontraktuell neue Bearbeitungsmöglichkeiten wünscht; diese werden im Regelfall von den Konstrukteuren des Technikherstellers berücksichtigt. Aber auch die mit der Konstruktion beschäftigten Mitarbeiter des Technikherstellers bringen neue Innovationsvorschläge ein, etwa dann, wenn sie in der Konstruktionsphase auf zusätzliche Optionen stoßen. In beiden Fällen werden neue Abstimmungen notwendig.

> *"Da diskutieren wir mit dem Kunden, ob eventuell ein Walzprofil nicht durch ein Schmiedeteil ersetzt werden sollte, weil es dann die Möglichkeit gibt, die Fertigung viel einfacher zu machen."* (II, Vertriebsleiter: 14)

Solche Änderungen ziehen häufig weitere Änderungen nach sich. Selbst Preise sind davon nicht ausgenommen. Auch deshalb ist neben der Abstimmung mit dem Geschäftspartner eine ständige innerbetriebliche Kooperation zwischen Vertrieb, Konstruktion und Werkstatt notwendig. Bevor innerbetriebliche Entscheidungen über Alternativen

---

[12] Das aber erfordert Lernprozesse eigener Art und wird im fünften Kapitel unter dem Oberbegriff des *reflexiven Lernens* diskutiert.

gefällt werden, die auch unterschiedliche Kosten verursachen, wird mit dem Vertrieb die Möglichkeit finanzieller Nachverhandlungen erörtert.

> *"Wir diskutieren mit dem Verkauf auch noch einmal, wenn wir festgestellt haben, daß wir es so nicht machen können, was die davon halten. Der Mehrpreis muß ja auch irgendwo vertreten werden und die haben es ja auch angeboten, müssen das vertreten, daß wir es jetzt ändern und das wird dann noch 'mal durchdiskutiert. Das ist bei vielen Maschinen so, daß wir nachher was ändern."* (II, Facharbeiter/Montage/Elektronik: 12)

Wie schon erwähnt wurde in diesem Innovationsfall problematisch, daß die Verhandlungen fast ausschließlich mit dem Betriebsleiter des Technikverwenders II_1 geführt wurden und die Werkstattebene kaum beteiligt worden war. Deshalb fehlten anfangs wichtige Informationen, die zu einer konstruktiven Variation der Entwürfe bzw. zur Umorganisation der Fertigung geführt hätten: die Anpassung der Bedingungen und Möglichkeiten des Technikverwenders und des Herstellers aneinander konnte deshalb zunächst nur unzureichend geleistet werden. Eine Ursache dafür liegt darin, daß das Angebot bzw. der Vertrag ein Design festlegte, dessen anwenderangemessene Umsetzung nicht durch vertragliche Leistungen allein gewährleistet werden konnte. Denn darüber, ob eine Innovation als erfolgreich eingeschätzt wird, entscheidet nicht allein die Leistung einer Maschine, sondern auch die spezielle mikropolitische Konstellation auf der Anwenderseite.

> *"Wenn die Leute, die nachher damit umzugehen haben, sagen: 'Das Ding wollen wir haben', dann ist das schon die halbe Miete. Aber wenn der Bediener gegen die Maschine ist, kriegt man keine Schnitte. Wenn dem einmal ein Wassertropfen auf die Schuhe tropft, dann geht das Schreien schon los. Der eine macht Theater und schon tanzt man an, und der andere putzt ihn weg, dann ist die Sache erledigt. So geht das."* (II, Konstruktionsleiter: 15)

Da zudem die Maschine für den Anwender II_1 in weiten Teilen mit der an II_2 gelieferten Maschine übereinstimmte, schien der weitere Verhandlungsaufwand geringer. Probleme traten erst mit der Maschinenübernahme durch II_1 auf.

1.4.2 Fertigungs- und montagetechnische Realisierung

Zeit und Qualität stellen die zentralen Parameter der Fertigung dar. Fertigungsaktivitäten sind aber keinesfalls nur als passive Umsetzung technischer Zeichnungen zu verstehen: Die Zeichnungen können fehlerhaft sein, Freiheitsgrade enthalten oder spätere

Passungsprobleme verursachen, Materialien und Rohlinge können variieren, das Werkzeugverhalten kann differieren, nachträgliche Änderungen des Maschinendesigns neue Anforderungen stellen oder die Veränderung einer Bearbeitungsfolge kostengünstiger sein. Das folgende Zitat gibt ein Beispiel für den ersten Fall:

> "*Und das ist dann manchmal das Auffällige, wenn ich mich an die Zeichnungen hielte, würde ich einen Fehler einbauen. Das fällt oft bei den Koordinaten auf. Da ist es wirklich schon ein paar Mal passiert, daß diese Koordinaten ganz einfach nicht stimmten. Dann habe ich mich gefragt, wozu denn die Maße eigentlich auf der Zeichnung stehen. Ich muß mich ja eigentlich nach der Zeichnung richten, aber dann habe ich mich überwunden und bin dann nach oben gegangen und habe gesagt: 'Hört mal zu, ich habe das aber anders ausgerechnet.' Dann haben die das nachgerechnet und es war ein Fehler drin. Das passiert also auch.*" (II, Facharbeiter/Fertigung: 20)

Können dagegen wiederholt auftretende Fertigungsschritte auf Dauer gestellt, d.h. konstruktiv fehlerfrei verarbeitet werden, so scheiden sie aus der Rückkopplungsschleife aus. Aus diesem Sachverhalt ergibt sich allerdings die Schwierigkeit, die Motivation der Mitarbeiter permanent hoch zu halten: wenn es gelingt, bestimmte Arbeitsschritte auf Wiederholung hin zu optimieren und festzulegen, sinkt zugleich das motivationale Interesse an der Arbeit.

Während der mechanischen Fertigung sind auch deiktisch vermittelte Kommunikationen zwischen Technikern und den Fertigungsmitarbeitern notwendig. Ebenso wird die spätere Montage in die Fertigung miteingebunden. Während die Konstrukteure hier auf konstruktive Intentionen hinweisen, die sich nicht völlig aus den Fertigungszeichnungen ergeben, weisen die Monteure schon frühzeitig auf bestimmte Montageanforderungen und Passungsmodalitäten hin.

Den häufigen informellen Abstimmungsprozessen liegt beim Hersteller II auch eine Managemententscheidung zugrunde: das Ziel, den Aufwand an zeichnerischen und sonstigen schriftlichen Ausarbeitungen zu begrenzen, wird durch eine *Organisation durch Einbezug* erreicht, die auf Erfahrung und hohe persönliche Motivation der Mitarbeiter abstellt. Die hohen konstruktiven und fertigungstechnischen Fehlerpotentiale - erzeugt durch die Permanenz des Neuigkeitsdrucks und die Verwendungsspezifität - machen einen Grad an Abstimmung notwendig, der ohne direkte Interaktion nur schwer erreicht werden könnte. Dazu ein Beispiel:

> "*Aber ich denke mir auch, daß sich Fehler manchmal nicht vermeiden lassen. Erstmal, weil es*

nicht absichtlich ist und weil es auch überhaupt nicht absehbar ist. Gerade die in der Konstruktion müssen soviel beachten, das ist vollkommen normal, daß irgendwelche Sachen auch während der Produktion noch 'mal umgestellt werden müssen." (II, Facharbeiter/Fertigung: 32)

Erst durch ein Organisationsprinzip, das der Innovationsarbeit nicht nur den Stellenwert von ad hoc-Reaktionen auf unvorhergesehene Probleme einräumt, sondern sie planmäßig einbezieht, wird die Nutzung aller Wissensbestände möglich. Konstruktive Festlegungen von Toleranzen sind hier ein Bereich, der ständig Beachtung findet. Das den Konstrukteuren abverlangte umfassende Produktionswissen wird durch eigene Berufserfahrung und den ständigen Kontakt zur Werkstatt hergestellt. Produktionswissen geht so in Konstruktionswissen ein.

Eine weitere Anforderung für die Fertigung besteht in der notwendigen Anpassung der Teile nach den Erfordernissen der Montage. Bei Passungsarbeiten kann sich herausstellen, daß die gefertigten Teile nicht die genügende Präzision haben oder daß diese zwar konstruktions- und fertigungsgerecht gearbeitet wurden, aber nicht montagegerecht sind. Hier sind dann iterative Feinabstimmungen zwischen Fertigung und Montage erforderlich:

"*Da kommt es nun häufig vor, daß wir irgendwelche Sachen nacharbeiten müssen aus irgendwelchen Gründen. Der Fehler, der wird ja meistens nicht kleiner, der wird ja immer größer. Dann gehen wir dahin und gucken uns das an oder die bringen uns die Teile und wir bearbeiten das dann. Das geht dann so Hand in Hand.*" (II, Facharbeiter/Fertigung: 18)

Die charakteristische Verknüpfung von Konstruktion, Fertigung und Montage im Sondermaschinenbau wird über kurze Kontaktwege, informelle statusübergreifende Kooperationen, vertrauensbasierte Beziehungen und der gemeinsam geteilten Erkenntnis wechselseitiger Ressourcenabhängigkeit gesichert.[13]

Die Konstrukteure spielen in diesen Prozessen die zentrale Rolle des Projektmanagements.[14] Herstellerinterne Informationen, Wissen der Montage- und Serviceabteilung sowie eigene Beobachtungen und Verhandlungen auf der einen Seite, konstruktive Umsetzungen in Technik und Funktionsabläufe auf der anderen Seite werden durch sie

---

13 Die Bedeutung von hochgradig personalisierten Beziehungen in Netzwerken zeigt sich somit auch in der *internen Rekursion* betrieblicher Innovation.

14 Eine systematische Tätigkeitsbeschreibung der Aufgaben von Ingenieuren/Technikern im Kontext technischer Innovationen findet sich in Asdonk, Kowol 1994.

in Deckung gebracht. Ihr Wissen steht den anderen Abteilungen nur in Ausschnitten zur Verfügung, die Kunst besteht darin, eine Balance zwischen notwendiger Arbeitsteilung und hohen innerbetrieblichen Transaktionskosten einerseits, Unsicherheiten und Fehlermöglichkeiten andererseits zu finden.

Diese Innovationsorganisation gerät allerdings dann an Grenzen, wenn nicht sichergestellt ist, daß Erfahrungen umfassend verfügbar sind. Erst seit kurzem werden im Herstellerbetrieb II Mängelbücher geführt, die den einzelnen Abteilungen zur Verfügung gestellt und permanent ergänzt werden. Bis zu diesem Zeitpunkt waren Personen die Träger von Erfahrungen, das Wissen ging mit dem Ausscheiden dieser Mitarbeiter verloren. Dazu ein Beispiel: Eine vor Jahren gelieferte Maschine sollte überholt werden. Im Herstellerbetrieb wurden die vorhandenen Konstruktionszeichnungen zur Fertigung bestimmter Ersatzteile herangezogen.

> "*Da haben wir auf Verdacht neue Zahnräder gefertigt und wußten nicht mehr, daß dieses Zahnradpaar schon 'mal nachgeschliffen wurde, weil es im Stich zu eng war.*" (II, Montageleiter: 10)

Die organisationale Absicherung impliziter Wissensbestände ist deshalb eine wichtige Anforderung an das Innovationsmanagement. Viele für die Innovativität der Unternehmen wichtige technische Parameter, Daten und implizite Wissensbestände zirkulieren außerhalb der eigentlichen Konstruktions- und Entwicklungsabteilungen. Diese Wissensbestände lassen sich häufig nicht in explizite Technisierungsregeln überführen, sie bleiben gewissermaßen lokal gebunden und entziehen sich nicht selten einer ökonomischen Bewertung.[15]

Nachdem die wesentlichen Fertigungsaufgaben gelöst sind, beginnt die Montage der Maschine. Die Aufgabe der Montage besteht im Zusammenbau, der Herstellung der Produktionsbereitschaft und der Vorbereitung der innerbetrieblichen Abnahme der Maschine. Notwendig ist es dazu, vom Vertrieb und der Konstruktion ausreichende Informationen über den Verwendungskontext, die speziellen Bearbeitungserfordernisse und die Werkstücke einzuholen. Ein Vorverständnis ist durch die Teilnahme an den frühen Phasen der Entwicklung - bis zurück zu den ersten Verhandlungsphasen - vorhanden. Die in den Verträgen festgelegten Leistungsanforderungen und technischen

---

[15] Deshalb sind die im Vergleich zu anderen Branchen geringen FuE-Ausgaben ebenso wie die Patentstatistiken keine hinreichenden Indikatoren für die Innovationsfähigkeit der Branche.

Beschreibungen sind weitere Quellen, die für die technische Umsetzung neben den Konstruktionszeichnungen herangezogen werden. Darüber hinaus ist es die personelle Identität von Montage und Service im Herstellerbetrieb II, die sicherstellt, daß ein Überblick über die Praxis von Anwendern, d.h. über ihre spezifischen Anforderungen und Problemen, vorhanden ist.[16]

Die Montage einer Maschine beginnt mit dem Unterbau, der von der eigenen mechanischen Fertigung bezogen wird. Hier besteht der erste Arbeitsschritt im Vermessen des Körpers. Jeder weitere Arbeitsschritt der mechanischen Montage wird von Messungen begleitet. Die Montage erbringt die entscheidenden Leistungen, welche die Genauigkeit der Bearbeitung garantieren. Umfangreiche Überarbeitungen nach Maßgabe der Montage sind deshalb auch nicht ungewöhnlich. Parallel zu den Messungen werden an den einzelnen Baugruppen Tests vorgenommen. Nach der mechanischen Montage erfolgt der Anschluß der Elektronik und die Programmerstellung. Auch dieser Arbeitsschritt zieht gewöhnlich umfangreiche mechanische Anpassungen nach sich.

Die gesamte Montagephase wird durch die Konstruktion begleitet. Besonders intensiv wird die Zusammenarbeit dann, wenn mit der versuchsweisen Bearbeitung von Werkstücken begonnen wird und Messungen vertraglich festgehaltener Maschinenparameter durchgeführt werden. Der Behebung hier festgestellter Abweichungen schließt sich die herstellerinterne Maschinenabnahme an. Fällt diese zur Zufriedenheit des Anwenders aus, wird die Maschine demontiert, verpackt und zum Kunden verschickt.

Die schon sehr frühzeitig in der Konzeptentwicklung berücksichtigte Elektronik kommt erst nach Abschluß der mechanischen Montage in den Prozeß zurück. Der Zusammenbau zugelieferter und im Betrieb gefertigter elektrischer und hydraulischer Komponenten und Teile sowie die Abstimmung komplexer technischer Module aufeinander ist mit gewissen Freiheitsgraden für die Montage verbunden. Dafür ist auch die Elektronik relevant. So ist die genaue Lage einer Reihe von Teilen zeichnerisch nicht

---

16 Die hier gewählte Unterscheidung zwischen den Montageanforderungen und der Inbetriebnahme/Vorabnahme erfolgt ausschließlich aus darstellungstechnischen Gründen. Die Autoren des "Trendreports Rationalisierung" (Schumann u.a. 1994) sehen innerhalb der Montagebereiche im Werkzeugmaschinenbau ein neues Element (einen neuen "*Typus von Montagearbeit*", 479) gegenüber der traditionellen Maschinenbauorganisation. Montage- und Prüfvorgänge wechseln sich dauernd ab, so daß eine Phasierung zwischen Montage und Inbetriebnahme etwas idealtypisch ist und nicht der empirischen Beobachtung entspricht. "*Die Inbetriebnahme ist hier eine mit dem Montagefortschritt permanent verknüpfte Funktion.*" (478) Dieser Befund wird durch die Innovationsfallstudien gestützt.

festgelegt. Die Erfahrung der Facharbeiter wird genutzt, um praxisgerechte Lösungen zu finden. Hier detaillierte konstruktive Vorgaben über die Lage der Hydraulik, der Verkabelung und der Motoren zu machen, würde einen zu hohen Konstruktionsaufwand nach sich ziehen.

> "*Im Sondermaschinenbau hakt es immer mal wieder irgendwo. Vieles muß improvisiert werden. Wenn z.B. die Elektrik an die Maschine angebaut wird, dann kann kein Konstrukteur vorher festlegen, wo Sammelkästen hinkommen, wo Ventilblöcke, die ganzen Spulen, die Leitungen zusammengezogen werden können, wo noch Platz an der Maschine bleibt. Dann wird einfach mit dem Konstrukteur und dem Elektriker zusammen festgelegt, wo wir diese ganzen Kästen hinbauen. Drei oder vier Stunden sind da schnell weg.*" (II, Montageleiter: 10f.)

Ein anderer Bereich, in dem die Montage innovationsrelevante Leistungen erbringt, ist die Funktion der Spannvorrichtungen. Diese sind zwar vom Prinzip her festgelegt, aber gerade die Anpassungen an die vom Kunden bereitgestellten Werkstücke machen Änderungen notwendig. Hier ist ein gezielt-erfahrungsgestütztes Optimieren nicht durch konstruktive Vorarbeiten völlig ersetzbar. Die elektronische Optimierung der Maschine macht auf mechanische Probleme aufmerksam.

> "*Verbessere ich die Steuerung, hat die vielleicht mehr Potentiale, dann tun sich mechanische Grenzen auf. Elektronisch hat man eigentlich ein weites Spektrum zu Verfügung, um das auch jeweils auf die Mechanik abzustimmen. Elektronisch hat man da keine großen Probleme, wo man alles anpassen kann. Aber wenn einer wirklich was ändern muß, dann ist es eigentlich immer die Mechanik.*" (II, Facharbeiter/Montage/Elektronik: 20)

Die Elektronik dient hier als quasi Meßinstrument, denn diese arbeitet eigentlich immer im μ-Bereich; fraglich ist, ob die Mechanik hinterher auch im μ-Bereich arbeitet. Deshalb können an dieser Stelle nochmalige Änderungen bis hin zu konstruktiven Modifikationen notwendig werden. Dazu sind aber auch Eingriffsreserven vorgesehen.

> "*Die Maschine ist eigentlich soweit schon entstanden, wenn ich anfange. Die Einheiten sind eigentlich fertig. Es passiert aber immer wieder mal, daß der Konstrukteur sagt: 'Da habe ich noch was anderes' und 'Hier kommt noch ein Ventil dazu und da noch ein Endschalter oder eine neue Absteckvorrichtung.' Das entsteht dann eben so nach und nach. Gut wir haben in der Elektrik auch noch so viel Platz, daß wir dann eben sagen können: 'Machen wir.' Also gewisse Freiräume werden gelassen.*" (II, Facharbeiter/Montage/Elektronik: 16)

Es kann aber auch vorkommen, daß ganze Baugruppen überarbeitet werden müssen, um die durch die Steuerung aufgedeckten Abweichungen zu beheben. Um dieses Verfahren,

das hohe Kosten verursacht, nur in Ausnahmefällen anwenden zu müssen, werden Sicherheitsreserven (Redundanzen) z.B. in Form von Zwischenblechen eingebaut. Stellt sich etwa heraus, daß ein Tisch geneigt ist, können diese Bleche demontiert und überarbeitet werden, bis die Genauigkeitsanforderungen eingehalten werden.

> "*Wenn ich einen Tag an der Maschine war, dann haben die Schlosser eine Woche zu tun.*" (II, Facharbeiter/Montage/Elektronik: 4)

Für die Montage bildet auch das Renommee des Vertragspartners eine wichtige Größe; beispielsweise bilden Erfahrungen über das Qualifikationspotential der Mitarbeiter, die arbeitsorganisationalen Bedingungen und die mikropolitische Akteurkonstellation des Anwenderbetriebs relevante Aufmerksamkeitspunkte für die konkrete Ausgestaltung der Technik. Der Montageleiter von Hersteller II verweist darauf, wie technische und soziale Bedingungen untrennbar ineinander verschränkt sind:

> "*Die Maschine ist immer so gut, wie das Bedienungspersonal. ... Wir haben schon erlebt, daß Einheiten nicht mehr zurückkonnten, weil sie voller Späne saßen, weil diese Maschinen einfach nicht sauber gemacht wurden.*" (II, Montageleiter: 19)

Hier werden die Verfügbarkeit und Kontextspezifität einer Maschine nicht mehr allein durch die Eigenschaften der Maschine definiert, sondern als das Ergebnis einer Mensch-Maschine-Kopplung interpretiert. Für die Montage bedeutet dies, antizipierend Fehlerquellen auszuschließen, denen im Fall qualifizierter Facharbeiter weniger Aufmerksamkeit zukäme. Besonders ungünstig werden mikropolitische Konstellationen im Anwenderbetrieb für den Hersteller, wenn sie dazu führen, daß die Facharbeiter dort Maschinenausfallzeiten für ihre Zwecke instrumentalisieren.

> "*Der eine schreibt, wenn sie (die Maschine, U.K.) zehn Minuten steht, drei Stunden auf, also haben sie schon mal einen schlechten Wirkungsgrad bzw. Verfügbarkeit, aber da haben Sie keine Handhabe, da kommen Sie nicht gegen an.*" (II, Konstruktionsleiter: 22)

Aufmerksamkeit gilt auch der Organisation der Instandhaltung beim Kunden. Wird diese als vorbildlich angesehen und sind direkte Kontakte vorhanden, kann die Montage höhere Unsicherheitsspielräume lassen und die Optimierung der Maschine z.T. vor Ort beim Kunden vornehmen. Dies trifft besonders auf größere Anlagen zu, die beim Hersteller nicht komplett aufgebaut werden können.

"Wenn wir die Firma kennen, weil wir da schon Projekte stehen haben und wissen, daß wir mit den Leuten aus der Reparaturabteilung bestens klarkommen und die uns helfen, wenn da was dran ist und es erledigen, dann habe ich keine großen Sorgen." (II, Montageleiter: 16)

Vertraglich zugesicherte Leistungsdaten sind also nicht nur von der Technik abhängig, sondern ebensosehr vom Qualifikationspotential der Mitarbeiter des Techniknutzers. Daraus ergibt sich für den Hersteller die Notwendigkeit, prospektive Methoden der Risikominimierung anzuwenden. Das Ziel ist es hier, über Vertrauensbeziehungen - insbesondere auf der Werkstattebene - den Aufwand für Montage und Service zu verringern und gleichzeitig zu garantieren, daß technische und mikropolitische Probleme nicht zum Ausgangspunkt zwischenbetrieblicher Konflikte werden. Sind funktionierende Kontakte vorhanden, kann dies einen positiven Einfluß auf das Maschinenverhalten haben.

1.4.3 Inbetriebnahme und Vorabnahme

Die Inbetriebnahme und die Vorabnahme einer Maschine erfolgen im technikherstellenden Unternehmen. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der beteiligten Akteure. Während die Inbetriebnahme ausschließlich von Akteuren des Herstellerunternehmens durchgeführt wird, erweitert sich diese Konstellation bei der Vorabnahme um weitere Akteure aus dem technikverwendenden Unternehmen. Die Ermittlung der Leistungsfähigkeit einer Maschine erfolgt in einem stufenweisen Prozeß. Ganz allgemein geht es hierbei um die Funktionsfähigkeit der Maschine. Leistungsmerkmale müssen hier sukzessive abgeglichen werden. Prüfung, Fehlerdiagnose und Korrektur bilden oftmals eine Einheit. Aufgrund der raschen Fortschritte im Bereich der Elektronik, speziell in der Softwareentwicklung, ist hier ein alltäglicher Lernprozeß zwischen den Elektrotechnikern und den verantwortlichen Mechanikspezialisten gefordert. Insbesondere in der Endphase der Inbetriebnahme können sich mechanische und elektronische Wirkungen überlagern, was erhebliche Zurechnungsprobleme beschert und die Zuführung unterschiedlicher Qualifikationsprofile erfordert:

"Es geht ja nicht nur darum, so eine Maschine zu programmieren, sondern ich muß auch die Randbedingungen kennen, wissen, wie sich so eine Maschine dynamisch verhält, wie verhält sie sich hydraulisch, pneumatisch. Wenn man also bis in die Details will, dann muß so ein Mann praktisch schon ein Maschinenbaustudium gehabt haben oder die Kenntnisse sich so angeeignet haben und muß darüber hinaus exzellente Kenntnisse im Programmieren haben. Und

diesen Allroundmann hat man in der Regel nicht. Der eine kann gut Programmieren, kennt aber die Mechanik und Hydraulik nicht so genau. Und diese Dinge zusammenzuführen ist das Problem." (II, Konstrukteur: 3)

Kooperationen sind deshalb unumgänglich und - wie unsere Interviewpartner beim Hersteller II ausführten - hier alltäglich. Sie zielen auf die prüfende Herstellung als iterativen Prozeß bei gleichzeitiger Vervollständigung der mechanischen Fähigkeiten der Maschine.[17]

Bereits im Herstellerbetrieb werden Versuche unternommen, die den Nachweis der Genauigkeit der Maschine, der Bearbeitung sowie der Taktzeiten erbringen sollen. Dagegen läßt sich das Verhalten unter Produktionsbedingungen nur im Anwenderbetrieb testen.

"*Die Maschine zusammenzubauen ist das eine, sie aber auch zum Laufen bringen, dazu, daß sie Produkte liefert, die einwandfrei in Ordnung sind, das ist etwas anderes.*" (II, Montageleiter: 30)

Diese Bewertung stellt für Hersteller und Anwender eine Entscheidungssituation unter Unsicherheit dar, in der die Vermittlung divergierender Interessen vor dem Hintergrund unterschiedlicher Wissensbestände und Fertigkeiten geleistet wird. Die durchzuführenden Tests sind gekennzeichnet durch die Variation verschiedener Testverfahren und der genutzten Meßinstrumente auf ein definiertes Ergebnis hin. Im untersuchten Innovationsfall wurde ein Verfahren genutzt, das mit der Ermittlung zentraler Maschinenparameter begann.

"*Es wird für diese Maschine ein spezielles Meßprotokoll angefertigt, wo alle Achsen mit den dazugehörigen Toleranzen zeichnerisch festgehalten werden, die sie haben darf, die wir teils aus dem Vertrag herausnehmen, teils aber auch selbst festlegen. Wenn wir also eine Achse haben, die sehr genau sein muß, dann grenzen wir die Toleranz schon von vornherein ein. Teils werden wir auch durch den Kunden gezwungen. Nach diesem Meßprotokoll messen wir alle Achsen, alle drehenden Bewegungen durch.*" (II, Montageleiter: 34)

Unsicherheiten können allerdings nicht völlig ausgeschlossen werden, auch wenn Einigkeit über Meßprozeduren herrscht. Auffällig ist hier, daß selbst scheinbar harte Fakten

---

17 Bezogenen auf die Arbeitstätigkeit der Inbetriebnehmer kann hier den Untersuchungen von Schumann u.a. (1994) nur zugestimmt werden, die ausführen, daß diese Tätigkeit eine "*besonders anspruchsvolle, von großen inhaltlichen und zeitlichen Spielräumen geprägte 'gewährleistende Herstellungsarbeit' (darstellt, U.K.).*" (491)

zu einer Interpretationsfrage werden. Ob eine Toleranz im μ-Bereich liegt, ist nicht allein technisch determiniert, sondern auch von den spezifischen Fähigkeiten des Messenden bzw. den Kontextbedingungen abhängig.

> *"Es gibt Unterschiede: Der eine mißt so und der andere mißt so. Der eine hat warme Finger, der andere hat kalte Finger, das spielt auch noch eine Rolle, da kann sich das Teil schon verändern. Der eine behauptet von sich, er könne gut messen, der eine weniger gut. Wenn einer es täglich macht, dann hat er mehr Geschick als einer, der es nur ab und zu macht."* (II, Konstruktionsleiter: 30)

Die herstellerinterne Erstellung eines Meßprotokolls kann auf dieser Grundlage vom Anwender in Zweifel gezogen werden wie auch die Meßmethodik selbst. Ein wichtiger Faktor ist dabei, daß für die Anwender die Ermittlung von Maschinendaten gewöhnlich keine Routinetätigkeit ist. Eine Bewertung der Daten ist für den Kunden aber schwierig und deshalb basiert sie stark auf dem Vertrauen, das dem Hersteller entgegengebracht wird.

> *"Messen ist sicher auch Glaubenssache. Über das Messen gibt es auch viel Streit. Das stellen wir immer wieder fest. Das ist verdammt schwierig. Um die vereinbarte Genauigkeit an den Maschinen zu erhalten, ist es notwendig, daß der Anwender unseren Meßmitteln vertraut."* (II, Montageleiter: 33)

Die Meßprotokolle haben im wesentlichen zwei Aufgaben: zum einen kann der Hersteller damit Schwächen seiner Maschine ermitteln und beheben. Zum anderen wird damit für den Anwender der Nachweis von vereinbarten Genauigkeitanforderungen erbracht. Prüfung und Demonstration fallen meistens zusammen. Dieser Schritt des Leistungsnachweises erfolgt gewöhnlich innerhalb des Herstellerbetriebes unter Anwesenheit, aber ohne Mitwirkung des Anwenders.

Der nächste Schritt, die Ermittlung der Bearbeitungsgenauigkeit an gelieferten Werkstücken, macht hingegen seine aktive Mitarbeit notwendig. Um einen Bearbeitungsprozeß zu testen, werden Werkstücke bearbeitet, der Qualitätskontrolle des Kunden übergeben und dort geprüft.

> *"Dann kommt die Stunde der Wahrheit, es wird das erste Werkstück draufgenommen, bearbeitet und dann muß dieses Werkstück gemessen werden. Das ist etwas, was man eigentlich immer nur mit den Kunden zusammen tun kann. Entweder haben die spezielle Meßvorrichtungen, nach denen sie es machen, oder die geben uns die Meßmethoden vor oder wir schaffen die Werkstücke zum Kunden in das Werk, damit die intern messen."* (II, Montageleiter: 35)

Dann erfolgt die Optimierung der Maschine auf geforderte Taktzeiten hin. Diese wird im Normalfall ohne den Kunden vorgenommen, in besonderen Fällen werden aber Programmierer des Anwenders hinzugezogen, etwa dann, wenn das Spektrum der Werkstücke sehr groß ist oder besondere Anwenderbedingungen vorliegen.

> "*Es waren auch Sachen dabei, die wir selbst auch noch nie gemacht hatten. Da war ein Plandrehkopf zu programmieren, eine Drehbearbeitung und da kannten die sich zum Glück recht gut mit aus. Wir hatten eigentlich gar keine Erfahrung damit und haben das Wissen des Kunden genutzt.*" (II, Facharbeiter/Montage/Elektronik: 19)

Während der Inbetriebnahme ist die herstellerinterne Abteilungskooperation nochmals besonders intensiv. Einen besonderen Stellenwert hat hier die Konstruktion, da sie über die ausführlichsten Informationen über den Verwendungskontext und die geforderten Maschinenfunktionen verfügt und damit Entscheidungen über erreichtes Maschinenverhalten treffen kann.

> "*Wenn gerade eine Inbetriebnahmephase ist, da kann das sein, daß man den ganzen Tag unten in der Werkstatt steht. Die Leute wollen ja Schnittgeschwindigkeiten an die Hand bekommen und alles, wo es drauf ankommt. Ist das Teil falsch eingespannt, haben wir was falsch gemacht, müssen wir was korrigieren? Das kommt ja alles in der Inbetriebnahmephase noch dazu. Was meinen Sie, wie oft gerade bei so einer Maschine, wenn das Teil nicht so gespannt ist, wie man sich das vorgestellt hat, man eingreifen muß und nochmal ein paar Bauteile ändert oder einen Zylinder, wenn die Spannkraft nicht ausgereicht hat. Das passiert ja alles.*" (II, Konstruktionsleiter: 34f.)

Sind diese Arbeitsschritte abgeschlossen, liegen ausreichend stabile Prozesse vor und hat die Überprüfung gefertigter Werkstücke ergeben, daß die geforderten Parameter erreicht werden, erfolgt als letzter Schritt im Herstellerbetrieb, gemeinsam mit Vertretern des Anwenders, die Vorabnahme. Auch diese Phase stellt eine kritische Situation dar, in der weitere Entscheidungen über den Erfolg eines konstruktiven Entwurfs und seiner Umsetzung getroffen werden. Im Mittelpunkt steht dabei das Verhalten der Maschine, das vom Technikverwender im wesentlichen über den Output bewertet wird. Sein Interesse zielt auf die Abstimmung mit den eigenen Produktionsanforderungen, die in eine Reihe von Kriterien übersetzt werden. Bearbeitungsgenauigkeit und -zeiten, Werkzeugwechseltakt- und Umrüstzeiten, die Qualität erstellter Programme und die Abstimmung auf gelieferte Werkstücke und Werkzeuge werden überprüft bis hin zu Fragen der Arbeitssicherheit, des Lärmschutzes und der Bedienungsfreundlichkeit.

"Die Inbetriebnahme findet ausschließlich intern statt. Und danach, wenn wir sicher sind, daß es funktioniert, gibt es die Vorabnahme. Dann kommt der Kunde hierher, macht eine Vorabnahme, besichtigt das Ding. Da geht es um Genauigkeiten der Werkstücke, sehr viel auch um Genauigkeiten der Maschine, die beiden Dinge haben ja nicht unbedingt was miteinander zu tun. Und dann wird so eine Maschine vorabgenommen, Mängel, die es noch gibt, werden aufgeschrieben, dann gibt es hier im Werk eine Nachbesserung und dann, nicht in allen Fällen, aber öfter noch eine weitere Abnahme. Und dann den Versand." (II, Montageleiter: 8f.)

Probleme können unterschiedliche Gründe haben, die Hersteller und Anwender gemeinsam ermitteln und lösen. Dabei spielt das vorhandene Maschinenprotokoll eine entscheidende Rolle. So können Abweichungen z.B. in der Qualität der Werkstücke oder den zugelieferten Werkzeugen aufgedeckt werden.

An dieser Stelle ist ein Vergleich mit Standardmaschinen illustrativ: Mit einer Serienmaschine sind gewöhnlich Erfahrungen verknüpft, die in einen Meßstandard (z.B. eine DIN-Norm) einmünden, auf dem die Möglichkeit basiert, Leistungsvergleiche herzustellen. Dies ist eine Voraussetzung für stärker kaufmännisch geprägte Beschaffungsmuster. Ausgelieferte Maschinen werden mit einen Prüfprotokoll versehen, deren Parameter nicht ad hoc zwischen Hersteller und Anwender verhandelt werden müssen, sondern durch eine 'technische community' bereits entschieden wurden. Fehler einer Maschine werden im Rahmen vertraglich festgelegter Garantiebestimmungen behoben. Einkauf und technische Abteilungen eines Serienmaschinenkäufers können damit im Idealfall eine technische Anlage als *black box* behandeln. Erst Reparatur- und Wartungseinsätze durch den Techniknutzer müssen diese zumindest partiell öffnen.

Die Notwendigkeit der Festlegung von Parametern der Maschinenmeßprotokolle und die interpretative Flexibilität bei der Feststellung der Funktionsfähigkeit eines technischen Artefakts definieren die Situation im Sondermaschinenbau. Ob ein Fehler vorliegt, ist nicht einseitig feststellbar, sondern ist das Ergebnis einer Verhandlung.

Die Vorabnahme stellt wiederum einen Zeitpunkt verdichteter Kommunikation dar. Es treffen hier die verschiedenen relevanten Akteure des Herstellers (Vertrieb, Konstruktion, Montage, Geschäftsleitung) und des Anwenders (technische Abteilung, Geschäftsleitung) zusammen. Das Ziel, die Funktionsfähigkeit einer Maschine gemeinsam festzustellen, ist um so einfacher zu erreichen, je enger die Kontakte der Akteure untereinander in den vorhergehenden Phasen der Fertigung waren. Sind die verschiedenen Informationen über die Fertigungsabsichten und die anwenderinterne Organisation ausreichend berücksichtigt worden, liegt darüber hinaus ein Vertrauensverhältnis zwischen den Vertragspartnern vor und ist es schließlich gelungen, die Vorstellungen des

Kunden in ein Maschinendesign zufriedenstellend zu übersetzen, so werden an dieser Stelle in erster Linie noch notwendige Überarbeitungen und Anpassungen vereinbart.

1.4.4 *Experimentelle Technikimplementation*

Nachdem die Vorabnahme und Inbetriebnahme beendet sind, wird in einem nächsten Schritt die erneute Montage beim Technikverwender von der Monteurgruppe durchgeführt, die auch die Maschine im Herstellerbetrieb montiert hat. Einzelne Mitglieder der Gruppe sind später auch für den Service zuständig. Die personelle Identität von Service und Montage erklärt sich aus der Komplexität der Maschinen; eine eigenständige Serviceabteilung würde nicht über das spezifische Wissen verfügen, das notwendig ist, um vor Ort Probleme beheben zu können.

> "*Es ist auch gar nicht anders vorstellbar, weil die Leute die Maschine kennen. Wenn bei solchen komplexen Maschinen jetzt eine Kundendienstabteilung losfahren würde, die würden mit der Maschine gar nicht zurechtkommen. Weil die so umfangreich und komplex sind, die Maschinen. Denn durch die Details blicken die ja gar nicht durch. Das geht eigentlich bei solchen großen Maschinen gar nicht, als daß Leute fahren, die die auch die ganze Zeit bei uns im Hause betreut haben.*" (II, Facharbeiter/Montage/Mechanik: 1)

Mit der erneuten Montage erhält die Technik nun ihren kontextspezifischen Charakter. Gewöhnlich geht man davon aus, daß die Technik sich durch die Möglichkeit der flexiblen Anwendbarkeit auszeichnet, d.h. Funktionen unabhängig von den jeweiligen Kontextbedingungen gegeben sind. Autos fahren auf unterschiedlichen Straßenbelägen, Kühlschränke, Radios oder Fernseher funktionieren in unterschiedlichen Wohnumgebungen usw. Ein derartiges Muster läßt sich für Sondermaschinen nicht anwenden: hier sind es ja gerade die spezifischen Verwendungsanforderungen, die das Maschinendesign wesentlich beeinflussen. Trotz der beobachtbaren Tendenz, Sondermaschinen flexibel einsetzbar zu konzipieren, ist die Angemessenheit einer Lösung nur in Relation zu den jeweils lokalen (arbeits-)organisatorischen, qualifikatorischen und technischen Parametern feststellbar. Für die Monteure im Außendienst bedeutet dies, daß sie nicht nur eine Maschine nochmals zusammenbauen, die ihre Funktionstüchtigkeit bereits bei der Vorabnahme herausgestellt hat, sondern daß sie nun die Einpassung der Technik an die Werkstatt des Technikverwenders erbringen müssen und damit die kontextspezifische Funktionstüchtigkeit einer Maschine herzustellen haben.

Das Ziel dieser Re-Montage besteht in erster Linie darin, einen stabilen Prozeß dergestalt zu implementieren, daß weitere Eingriffe durch den Hersteller für die Zukunft möglichst überflüssig werden. Die notwendigen Arbeitsschritte dazu sind der Aufbau der Maschine, die Einweisung der Mitarbeiter des Kunden, das Herstellen eines vertrauten Maschinenumgangs und das Anpassen an die gegebenen Bedingungen.

Die Vorabnahme im Herstellerbetrieb kann in diesem Prozeß als ein Nachweis potentieller Bearbeitungsoptionen interpretiert werden, die es im Anwenderbetrieb erst noch umzusetzen gilt, besonders dann, wenn Maschinen im Herstellerbetrieb nicht komplett aufgebaut werden und nur Komponenten einer Prüfung unterzogen werden konnten. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn Maschinen für die Hallen des Herstellers zu groß sind. Möglich ist auch - wie im beobachteten Innovationsfall geschehen -, daß zugelieferte Bearbeitungszentren, Ladestationen und Roboterbestückungen erst beim Kunden mit der eigenen Maschine zu einer Transferstraße verkettet werden. Damit sind Unsicherheiten gegeben, die durch einen experimentellen Implementationsprozeß minimiert werden. Der erste Schritt besteht hier darin, Maschinen nur dann auszuliefern, wenn der Hersteller selbst davon überzeugt ist, daß sie funktionieren.

> "*Wir müssen sie zur Produktionsreife bringen. Wir müssen also erstens die Genauigkeit der Maschine, zweitens die Genauigkeit der Produkte und drittens die Taktzeit nachweisen, hier vor Ort schon.*" (II, Montageleiter: 9)

Um garantieren zu können, daß der Aufbau zu einer (vorabnahmeidentischen) funktionierenden Maschine führt, müssen bestimmte Rahmenbedingungen angepaßt werden. Angefertigte Maschinenfundamente in der Werkstatt des Technikverwenders müssen überprüft und zum Teil überarbeitet werden. Nicht unmittelbar behebbare Probleme ziehen Anpassungen an der Maschine nach sich. An dieser Stelle sind es besondere Leistungen der Facharbeiter, die es ermöglichen, mit geringem Einsatz optimale Ergebnisse zu erzielen. Notwendig dazu ist die Hilfestellung des Anwenderbetriebes.

Vertrauen in die Funktionsfähigkeit der eigenen Maschine, gute Kontakte zum Anwender und spezifische Qualifikationen der Monteure sind Bestandteile dieses Innovationsmusters. Hinzu kommt - wie schon herausgestellt - die Notwendigkeit, auf mikropolitische Konstellationen im Anwenderbetrieb zu reagieren, d.h. auf Formen der Qualifikation der Arbeitsorganisation und der Kontrollbeziehungen. Je nach dem Stellenwert der Facharbeit im Anwenderbetrieb werden Modifikationen an den Maschinen

notwendig: Akkordentlohnung führt eher dazu, minimale Wartungsaufgaben zu vernachlässigen, da es für den Facharbeiter rational sein kann, Maschinenstillzeiten als Ruhepausen zu nutzen bzw. die eigene Entlohnung nicht durch zusätzliche Arbeitsaufgaben zu gefährden. Angelernte Arbeitskräfte müssen intensiver eingewiesen werden als sehr gut qualifizierte Facharbeiter, die schon mit ähnlichen Produktionsmaschinen gearbeitet haben.

Die Anpassung an die anwenderspezifischen Anforderungen bringt es mit sich, daß nach der Re-Montage der Maschine eine weitere Optimierung der Programme vorgenommen wird. Der Elektroniker nutzt diese Situation zur Einweisung der Maschinenführer in die Steuerung der Maschine. Auch hier ist das Ziel, Unsicherheitspotentiale zu minimieren. Dazu werden die Mitarbeiter des Anwenders soweit mit der Maschine vertraut gemacht, daß anstelle teurer Montage- und Serviceeinsätze eigenständige Lösungen im Anwenderbetrieb entwickelt werden können.

> "*Wenn ich zum Kunden komme, da läuft die Maschine erstmal. Da müssen eventuell noch ein paar Verbesserungen hier und da vorgenommen werden und die Kundenschulung. Weil ich die Maschine auch am besten kenne, ist es auch am besten, daß ich eben die Kunden schule.*" (II, Facharbeiter/Montage/Elektronik: 15)

Auf den Abschluß der Montagearbeiten und der Erprobungs- und Optimierungsphasen folgt die Maschinenübergabe. Auch hier gilt, analog zur herstellerinternen Vorabnahme, daß die Funktionsfähigkeit einer Maschine das Ergebnis eines Aushandlungsprozesses ist. Besonders wichtig ist in dieser Situation das Verhältnis zwischen den technischen Bereichen des Anwenders und den Beteiligten des Herstellers: herrscht ein Vertrauensverhältnis, sind in die Fertigung der Maschine Vorentwürfe des Anwenders eingegangen und diese weitgehend umgesetzt worden, treten harte vertragliche Kriterien in den Hintergrund.

Während der Technikimplementation wurden erneut unterschiedliche Wissensbestände zusammengebracht: das Erfahrungswissen der Facharbeiter des Technikanwenders II_1 über die eigenen Produkte und Bearbeitungsverfahren sowie über die Güte der Bearbeitungen wurde hier verschmolzen mit dem Know-know der Programmierer des Herstellers II. Die erstellten Programme wurden vor dem Erfahrungshintergrund der Facharbeiter auf die Produktions- und Qualitätsanforderungen hin variiert, anders formuliert: es kam zu einem "*positiven Algorithmisierungsbeitrag*" (Malsch 1987) der Maschinenführer. Gemeinsame Lernprozesse waren notwendig, um stabile Prozesse für

die speziellen Verwendungsanforderungen zu erreichen. Als besonders gravierend erwies sich in diesem Fall noch, daß der Technikverwender organisatorische Änderungen vornehmen mußte, die in erster Linie die Facharbeiter betrafen. Denn erst zu diesem Zeitpunkt wurde von den Akteuren festgestellt, daß sich die implementierte Maschine von dem vorhandenen Referenzmodell unterschied.

> *"Das war am Anfang nicht ganz so erkennbar, das muß ich zugeben. Die ist also doch komplexer als eine normale CNC-Maschine. ... Wir haben die Anforderungen an die Facharbeiter zum Beginn des Projektes eigentlich nicht berücksichtigt ... Es wurde dann ziemlich deutlich, daß man da wirklich nur gute Leute ranstellen konnte."* (II_1, Werksleiter: 18)

Daß dies erst zu einem Zeitpunkt deutlich wurde, an dem die Maschine bereits beim Technikverwender stand, hängt wesentlich damit zusammen, daß die Konstruktions-, Fertigungs- und Montagephase beim Technikhersteller, also jene Bereiche, in denen explizite und implizite Anwenderanforderungen und die technologischen Möglichkeiten des Herstellers in Deckung gebracht werden, wesentlich verkürzt wurde. Sowohl der Hersteller als auch der Anwender gingen von der, wie sich erwies, falschen Voraussetzung aus, daß die Übertragung einer bereits umgesetzten Konstruktion auf die Werkstücke und Werkzeuge des Anwenders mit nur geringen Transaktionskosten möglich sei. Wesentlich ist hier, daß die Abstimmung mit der Werkstatt des Anwenders nur über den Werkstattleiter, nicht aber mit den Vorarbeitern, Facharbeitern oder Meistern vorgenommen wurde. Wesentliche Anpassungsprobleme wurden deshalb erst nach der Implementation und Inbetriebnahme im Anwenderbetrieb sichtbar, ohne daß dabei auf eine für beide Seiten identische Situationsdefinition hätte zurückgegriffen werden können.

Zwar wurden die Facharbeiter im Herstellerbetrieb eingearbeitet, aber offensichtlich reichten dabei die Vorbereitung und die Zeit nicht aus, um die technologischen Probleme der Maschine nach der Auslieferung zu vermeiden. Zugrunde liegt hier die Fehleinschätzung des Herstellers und des Anwenders, eine bereits optimierte und getestete Maschine vorzufinden.

Trotz dieser Fehlinterpretation, nahm der Technikverwender nicht an, eine Fehlkonstruktion erhalten zu haben. Zwar stellte es für den Werksleiter eine "*Überraschung*" dar, als er mit der Tatsache konfrontiert wurde, daß eine Reihe von Anpassungen - aus seiner Sicht: Fehlerbeseitigungen - notwendig wurden; doch war in diesem Innovationsfall eine wesentliche Voraussetzung dafür vorhanden, daß die Anpassung der

Maschine an die Bedürfnisse des Anwenders gelang: eine vertrauensbasierte Beziehung zwischen Hersteller und Nutzer:

> *"Da hat die Firma II eigentlich auch sehr viel Verständnis gezeigt oder zeigen müssen. Das ist die eine Seite. Wir haben natürlich auch Verständnis gezeigt."* (II_1, Werksleiter: 31)

Die Anforderungen, die mit der Implementation einer Sondermaschine verbunden sind, insbesondere die Notwendigkeit, die Kontextspezifität der technischen Funktionen schrittweise im Rahmen einer *experimentellen Implementation* herzustellen, waren im technikverwendenden Unternehmen offensichtlich nicht ausreichend bewußt. Erst zu diesem Zeitpunkt wurde deutlich, daß in der Zusammenarbeit der Montage des Herstellers mit den verschiedenen Akteuren des Anwenders, insbesondere mit den Facharbeitern, Erfahrungen und Fähigkeiten kombiniert werden mußten, um eine zufriedenstellende Funktion der Maschine zu erreichen. Diese gemeinsame Situationsdefinition war die Voraussetzung, um die Maschine zur vollen Produktivität zu bringen.

Daß dies nur schrittweise geschah, zeigt sich auch darin, daß selbst der für die neue Maschine als Maschinenführer ausgewählte Facharbeiter davon ausging, daß mit dem Kauf dieser Maschine nur geringe Anlaufschwierigkeiten zu erwarten seien. Gleichzeitig stellte er aber die Aufwertung seiner Arbeit durch dieses komplizierte Bearbeitungszentrum heraus und die damit verknüpfte Herausforderung, die sich in seinem Versuch dokumentiert, die von der Arbeitsvorbereitung vorgegebenen Bearbeitungszeiten zu unterbieten. Weiter schätzte er die im Vergleich zur Bedienung von Serienmaschinen größere Abwechslung in den Arbeitsabläufen, etwa bei der Erstellung und Optimierung von Programmen. Darin drückte sich ein anwachsender Grad an Vertrauen in die Maschine aus. Die Lösung auftretender Probleme wurde deshalb zunehmend nicht mehr an den Service des Herstellers delegiert, sondern selbst versucht. Dies kann auch als ein wichtiges Implementationsziel des Herstellers herausgestellt werden:

> *"Beim erstem Mal, beim zweiten Mal fragen sie (die Facharbeiter, U.K.) noch, aber beim dritten Mal machen die es, ohne zu fragen. Wenn die sich immer hinstellen und sagen: 'Ach Mensch, da ist was dran. Wir müssen einen Monteur kommen lassen', lernen die die Maschine nie kennen und deshalb ist es schon sehr gut, wenn sie sich einmal selbst heranwagen."* (II, Montageleiter: 18)

Insbesondere die Selbstüberwachung der Maschine, die zu häufigem Stillstand, auch bei

unwichtigen Fehlfunktionen führte, wurde für den Facharbeiter zunehmend unwichtiger und teilweise verzichtbar. Die Funktion der Maschine, so läßt sich hier folgern, ist nur in einer Mensch-Maschine-Kopplung herstellbar, die sich schrittweise vollzieht und einen fehlersensitiven Rahmen benötigt. Dazu gehört u.a., daß die Beteiligten die Situation adäquat einschätzen.

Daß das Innovationsvorhaben, wenn auch nach beträchtlichen Anlaufproblemen, doch als erfolgreich angesehen wurde, hängt insbesondere auch mit dem Vertrauen des Anwenders in den Hersteller zusammen. Obwohl nicht unwesentliche Kosten entstanden und für den Werksleiter konzerninterne Probleme auftraten, gelang es, eine Situation zu definieren, die zur Bereitschaft des Anwenders führte, sich auf die besonderen Umstände einer experimentellen Implementation einzustellen und die unterschiedlichen Optimierungs- und Anpassungsleistungen mitzuvollziehen, die zur Herstellung der Kontextspezifität der Maschine führten.

1.5 Verallgemeinerungen

Technische Entwicklungen des Sondermaschinenbaus lassen sich durch zwei Eigenschaften charakterisieren: zum einen sind sie in der Regel Prototypen (selten mit Nachfolgern), die aufgrund dieser Eigenschaft ein hohes konstruktives Risiko (technologische Unsicherheit) mit sich bringen, zum anderen sind sie eng an den technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen eines Verwendungskontextes orientiert.[18] Aus diesen Eigenschaften ergeben sich zwei wichtige unsicherheitsreduzierende Strategien: erstens die intensive betriebsinterne Abstimmung zwischen den an einem Innovationsfall beteiligten Abteilungen des Herstellers; zweitens die intensive zwischenbetriebliche Kooperation, um die vom Technikverwender geplanten Prozeßinnovationen mit einem kontextspezifischen Produkt zu realisieren.

---

18 Techniksoziologisch betrachtet geht die Herstellung von Sondermaschinen den umgekehrten Weg gegenüber der der Serienherstellung. Entscheidend ist hier die *Kontextualisierung* einer Technik für eine spezifische Verwendung. Das Know-how des Technikherstellers muß für einen bestimmten, lokalen Verwendungskontext mit besonderen Anforderungen fruchtbar gemacht werden. Ziel ist es, aus bereits verfügbarem Wissen Lösungen für neue Problemanforderungen und Antizipationen von denkbaren Schwierigkeiten eine kontextspezifische Lösung zu generieren. Im Serienmaschinenbau geht es darum, die *Dekontextualisierung* einer technischen Lösung mithilfe eines Anwenders zu erreichen, der in seinem Maschineneinsatz möglichst viele Merkmale späterer Verwendungskontexte vereinigt. (Vgl. Kap. IV. Abschnitt 3)

Der Begriff der Unsicherheit bezieht sich hier auf technologische, betriebswirtschaftliche und zeitliche Entscheidungen, die in unterschiedlicher Weise Hersteller und Technikverwender betreffen. In den Vertragsverhandlungen werden technische Artefakte entworfen, deren Umsetzbarkeit noch nicht nachgewiesen ist, auch wenn aus bekannten Konstruktionen Rückschlüsse auf die Machbarkeit bestimmter Lösungen gezogen werden können. Ob die spezifischen Anforderungen an eine Maschine im Rahmen der vorgenommenen Kalkulation umsetzbar sind oder der notwendige konstruktive, fertigungs- und montagetechnische Aufwand höher ist, ist ebenso ungewiß. Unvorhersehbare Probleme können auch zur Überschreitung der Übergabetermine und zu Konventionalstrafen führen. Es gilt deshalb, bereits in der präkontraktuellen Phase die Umsetzbarkeitsbedingungen möglichst genau zu ermitteln, ohne dabei allerdings die internen Transaktionskosten zu hoch werden zu lassen.

Die Innovationsaktivitäten werden häufig von den Technikverwendern angestoßen, zum Teil erstellen sie detaillierte Pflichtenhefte. Dies ist aber nicht als eine reaktive Innovationsstrategie mißzuverstehen, denn in den Aushandlungsprozessen mit den Technikverwendern bringt der Hersteller auch eigene Vorstellungen ein, indem Vorschläge zur Technik, zur Fertigungsorganisation und zur Qualifizierung des Personals gemacht werden. Eine wichtige Unterscheidung zu den Serienfertigern bezieht sich hier auf lange Aushandlungsphasen vor dem eigentlichen Kontrakt. In dieser präkontraktuellen Phase legen Hersteller und Verwender die zentralen technisch-ökonomischen Parameter gemeinsam fest. Der Technikverwender nutzt in dieser Phase die Hersteller-Hersteller-Konkurrenz - indem Offerten der jeweils anderen Technikhersteller intensiv miterörtert werden -, um eine möglichst kontextspezifische Lösung für sein Fertigungsproblem zu erreichen. Der Technikhersteller ist aus Gründen der Kontextualisierung seiner Technik auf diese netzwerkartige Beziehung zum Technikverwender verwiesen; in einem günstigen Fall lernt er in dieser vorvertraglichen Phase alternative Lösungsstrategien der Konkurrenz kennen und kann eigene Lösungskonzepte entsprechend variieren oder angleichen.

Allgemein werden in dieser präkontraktuellen Phase sukzessive technische Parameter und ökonomische Bewertungskriterien aufeinander abgestimmt sowie technische Optionen verdichtet und damit die Anfangsbedingungen des Innovationsprozesses festgelegt. Beachtenswert ist, daß die hier beteiligten Akteure die jeweilig ausgehandelten Ergebnisse in ihren eigenen Organisationen nochmals rückübersetzen müssen. Ins-

besondere die nicht-explizierten Bestandteile der Aushandlungsprozesse erfordern einen hohen kommunikativen Aufwand in der jeweiligen Bezugsorganisation.[19]

In dieser Phase werden auch schon potentielle Zulieferanten einbezogen, um verschiedene technologische Alternativen zu prüfen. Das betrifft auch Fragen zum In- und Outsourcing. Die präkontraktuelle Phase dient dementsprechend dem '*Weben*' und '*Schließen*', d.h. dem Aufbau des Innovationsnetzwerkes. Mit dem Vertragsabschluß sind die von Hersteller und Verwender gesuchten Anfangsbedingungen zur Lösung des Innovationsproblems rechtlich kodifiziert. Weiter bestehende Unsicherheiten müssen nun in vielfältigen, intra- und interorganisationalen Kooperationsprozessen bearbeitet werden.

Hinsichtlich der nach Vertragsabschluß beobachtbaren Variationen technisch-organisatorischer Bedingungen des Innovationsverlaufs lassen sich zusammenfassend folgende Ziele der diversen Aushandlungsprozesse herausstellen: Durch die iterativen Feinabstimmungen zwischen Hersteller und Verwender sollen die Produktionsbedürfnisse des Technikverwenders mit den technischen Festlegungen zunehmend in Deckung gebracht und gleichzeitig Entscheidungsrisiken des Herstellers und Investitionsrisiken des Technikverwenders sukzessive verringert werden. Da solche Absprachen selten in schriftliche Vereinbarungen eingehen, besteht eine Strategie des Herstellers darin, eine Vertrauensbeziehung zur Werkstatt des Technikverwenders aufzubauen. Dies kann als ein Versuch der Absicherung impliziter Absprachen verstanden werden, bzw. als Option, in frühen Phasen - also möglich vor der Implementation - konstruktive, fertigungs- und montagetechnische Konkretisierungen oder Korrekturen vornehmen zu können.

Die intraorganisationalen Kooperationsprozesse - hier als *interne Rekursion* bezeichnet - beinhalten insbesondere hohe Anforderungen an die Konstruktions- und Werkstattabteilungen, denen die Aufgabe zukommt, die technischen Konstruktionen zu erstellen und diese fertigungs- und montagetechnisch zu realisieren: Während der Konstruktionsphase ermittelt die Konstruktion mit dem Vertrieb, der mechanischen Fertigung und der Montage zusammen das zum Teil implizite Leistungsspektrum einer Maschine und die Möglichkeit bestimmter technischer Lösungen in Abhängigkeit vom Preis. Zur mechanischen Fertigung wird die Konstruktionsabteilung hinzugezogen, wenn der Bearbeitungsaufwand zu hoch erscheint oder Unstimmigkeiten auftauchen.

---

[19] Darauf komme ich im Kapitel V zurück.

Die mechanische Fertigung spielt eine Sonderrolle, da ihr der Kontext, d.h. der Einsatz und die Funktion zu fertigender Teile, nur in Ausnahmen bekannt sein muß. Die innerbetriebliche Rekursion zwischen der Konstruktion und der mechanischen Fertigung ist besonders dort intensiv, wo die Facharbeiter Möglichkeiten der Prozeßinnovation, d.h. Verbesserungen der Fertigungsabläufe entwickeln und mit der Konstruktion abstimmen.

Für die Montage einer Maschine sind dagegen genaue Kenntnisse der Kontextbedingungen notwendig, die über den Vertrieb, die Konstruktion und eigene Kontakte zum Nutzer eingeholt werden. Die herstellerinternen Kommunikationsprozesse haben auch zur Folge, daß noch während der Konstruktion Verhandlungen mit dem späteren Techniknutzer geführt werden, etwa dann, wenn Toleranzen die Fertigungskosten über ein bestimmtes Maß ansteigen lassen. Dies kann bis zu Eingriffen in die Produktion beim Technikverwender reichen. Das Ziel dieser innerbetrieblichen Kommunikation ist die Reduktion von Unsicherheit; als interne Rekursion ist sie die Voraussetzung für ein hohes Maß an Fehlersensitivität.

Fehlersensitivität heißt organisatorisch abzusichern, daß Probleme frühzeitig bemerkt und mit geringem Aufwand behoben werden können. Voraussetzungen dazu bilden niedrige Hierarchien, ein hohes Erfahrungswissen der Facharbeiter und *trust relations*, durch die die Kritik konstruktiver Festlegungen - etwa durch die Facharbeiter in der mechanischen Fertigung - ermöglicht wird. Gleichzeitig wird dadurch ermöglicht, daß eigene Fehler nicht vertuscht werden, die hohe Kosten verursachen, wenn sie erst nach der Montage im Verwendungskontext offenkundig werden. Damit einher geht die Rückmeldung von Fehlern, die in Zukunft vermieden werden können.

Erfahrungen sind in der Regel Ergebnisse einer Lernsituation: bei der Verfolgung bestimmter Ziele, etwa der Montage einer Maschine, ergeben sich Erfahrungswerte insbesondere dann, wenn Probleme auftauchen. Hier Aufmerksamkeit zu entwickeln, aus den Fehlern der Vergangenheit zu lernen und das gewonnene Wissen für neue Maschinen zu nutzen, stellt eine permanente Innovationsanforderung dar. Da diese Erfahrungen nur zum Teil verschriftlicht werden und häufig implizit bleiben, ist die in einem hohen Maße informelle innerbetriebliche Rekursion eine wesentliche Voraussetzung innovativen Handelns. In einem verallgemeinerbaren Sinn sind Fehler die Voraussetzung für Lernprozesse: Was nicht auch fehlerhaft sein könnte, kann nicht optimiert werden. Der Fehler wird gewissermaßen zum Partner des Lernens. Lernen ist dabei kein additiver

Vorgang, sondern setzt auch die Bereitschaft zum Verlernen voraus. Lernen ist hier entdecken und nicht imitieren oder kopieren.[20]

Die interorganisationalen Beziehungen zwischen Hersteller und Verwender - hier als *externe Rekursion* bezeichnet - umfassen insbesondere Informationsaustausch- und Informationsgewinnungsprozesse, die die Kontextualisierung der Technik für den speziellen Verwendungszweck ermöglichen. Die Entwicklung von Vertrauensbeziehungen zwischen Hersteller und Nutzer dient u.a. dazu, Wissen über spezielle Funktionsbedingungen (Schnittstellenprobleme der Technik), implizite Leistungsanforderungen, arbeitsorganisatorische und qualifikatorische Voraussetzungen und die mikropolitische Konstellation zu erheben. Die Antizipation der damit verbundenen Probleme gelingt allerdings selten so vollständig, daß auf Nachbesserungen an den Maschinen verzichtet werden kann. Andere Probleme ergeben sich aus der Kombination von Maschine und Werkzeugen, die häufig vom Verwender selbst zugekauft oder entwickelt werden und die Funktion einer Maschine gefährden können. Nicht völlig modellierbar ist auch das Verhalten des zu bearbeitenden Materials.

Mit der anwenderzentrierten Konstruktion ist eine gewisse Ablösung vom Markt gegeben, der hohe technische Risiken gegenüberstehen. Nur in Ausnahmen sind im Vorfeld Maschinentests durchführbar. Neben den genannten Mechanismen des Managements von Unsicherheit werden diese technischen Risiken auch durch eine spezifische Form der *experimentellen Implementation* abgemindert. Während bei Serienmaschinen der Verwender erwartet, daß sie 'auf Anhieb' funktionieren, wird für Sondermaschinen im allgemeinen akzeptiert, daß sie unter den Realbedingungen des Technikverwenders 'eingefahren' und optimiert werden müssen. Um zu einer gemeinsamen Optimierung von Maschinen unter nicht völlig kontrollierbaren Bedingungen zu kommen, werden sowohl Änderungen der Maschine, der Werkzeuge, der zu bearbeitenden Werkstücke als auch Anpassungen der Organisation des Nutzers nochmals geprüft. Wesentliche Anpassungen der Technik werden deshalb häufig erst im Verwendungskontext vollzogen, anders gesagt: Der Betrieb wird zum *Labor*.

Eine letzte zusammenfassende Bemerkung gilt dem theoretischen Konzept der Eigenlösung: Mit dem Abschluß der präkontraktuellen Aushandlungsphase - so habe ich argumentiert - sind die Anfangsbedingungen für ein gemeinsames Innovationsprojekt

---

20 Die Bedeutung unterschiedlicher Lernstrategien für den Innovationsprozeß wird im fünften Kapitel der Arbeit weiterverfolgt.

zwischen Hersteller und Verwender erzeugt worden. Innerhalb der netzwerkartigen Beziehungen zwischen Hersteller und Verwender sind unterschiedliche Akteure zu unterschiedlichen Zeiten und an unterschiedlichen Orten mit verschiedenen Entscheidungen an der Erzeugung der Technik beteiligt. Aus den vielfältigen Kooperations- und Kommunikationsprozessen zwischen Hersteller und Verwender, die eine Vielzahl von Entscheidungen im Innovationsverlauf erfordern, ergeben sich die potentiellen Bifurkationen von den ausgehandelten Anfangsbedingungen. Die jeweils notwendigen Entscheidungen an den Bifurkationspunkten können als interne Selektionen in den technikerzeugenden und -verwendenden Sozialsystemen, die von den heterogenen Akteuren nach zu vereinbarenden Entscheidungskriterien vorgenommen werden müssen, analysiert werden. Sie sind kontingent, insofern Selektion immer bedeutet, zwischen Alternativen zu wählen, und die Wahl ist wiederum nur auf der Basis von weiteren Selektionen möglich. Selektionen im Innovationsverlauf führen dementsprechend zu dynamischen Abhängigkeiten. Insofern die Entscheidungen auf einen speziellen Verwendungskontext gerichtet sind, sind sie eher durch Lokalität und Indexikalität als durch formale Rationalität gekennzeichnet. Wenn aber der lokale Verwendungskontext und die darauf bezogenen Entscheidungen der Akteure den Innovationsverlauf konditionieren, ist ein empirisches Argument dafür gefunden, daß bei gleichen Anfangsbedingungen unterschiedliche Lösungen, *Eigenlösungen*, wahrscheinlich sind. Technische Lösungen sind in diesem Sinne "*entscheidungsimprägniert*" (Knorr-Cetina 1984: 28) und auch "*entscheidungsimprägnierend*" (ebd.), da eine *Eigenlösung*, die im Kontext des technischen Wandels und von Marktkonkurrenz immer nur temporär Bestand haben kann, neue Probleme und mögliche Lösungen vorstrukturiert. Die Innovation wird zum rekursiven Prozeß. Dies bezieht sich nicht nur auf im engeren Sinne technische und ökonomische Festlegungen, sondern ebensosehr auf qualifikatorische, organisationale und strategische Ziele. Die Rekursion stellt dabei den Mechanismus dar, durch den die Minimierung von Risiken ermöglicht wird.

Der Einbezug der unterschiedlichen Wissensbestände, die Orientierung an den Bedingungen des Nutzers und die Verfügbarkeit und Nutzung von Eingriffsreserven bis hin zur Inbetriebnahme der Maschinen im Verwendungskontext kennzeichnen einen selbstbezüglichen Innovationsprozeß, bei dem sich die durch die Nutzungsvisionen der Technikhersteller und die Nutzungserwartungen der Technikverwender gegebenen technisch-organisatorischen Risiken und die vertrauensbasierte Zusammenführung ver-

schiedener Erfahrungsbestände eine Balance halten müssen, soll die Innovationstätigkeit erfolgreich sein.

2. Technikentwicklung und Innovationsarbeit

Technikentwicklung sei die Domäne der Ingenieure und Techniker[1] die in Entwicklung und Konstruktion, Planung und Organisation neue Ideen finden, kühne Entwürfe und Konstruktionen zu Papier bringen, Herstellungsprozesse planen und leiten und auch selbst einmal Hand anlegen, um eine neue Maschine oder einen neuen Produktionsprozeß in Gang zu bringen. Doch dieses Bild ist unzutreffend - und war insbesondere im Werkzeugmaschinenbau immer schon falsch.

Die Probleme, die in der Technikentwicklung zu lösen sind, sind komplex und drängen dazu, die Sichtweisen verschiedener Abteilungen, Status- und Berufsgruppen zusammenzuführen und zu verknüpfen. Das Interesse, die Funktionsfähigkeit und Machbarkeit einer neuen Technik zu sichern, das Interesse an effizienten und kontextsensitiven Lösungen verbietet den 'Alleingang' von Technikern, der 'Lücken' in den Konstruktionszeichnungen und suboptimale Auslegungen zur Folge hätte. In den innovativ tätigen Unternehmen zeigt sich: Innovationen - von der ersten Idee, über die Fertigungs- und Montageprozesse bis zur Inbetriebnahme und Implementation in einem Verwendungskontext - sind das Resultat einer engen Kooperation unterschiedlicher Akteure, die Statusgruppen, Abteilungen und Organisationsgrenzen übergreift. In diesen Kooperationsprozessen bilden die *interne* und *externe Rekursion* zwischen der empirisch-praktischen Tätigkeit der Arbeiter[2] und den abstrakt-konstruktiven Beiträgen der Techniker einen zentralen Mechanismus für die konkrete Technikgestaltung.

Das Ziel dieses Abschnitts ist es, insbesondere den Anteil der Arbeiter an der Technikentwicklung, d.h. ihre vielfältigen Kommunikations- und Kooperationsprozesse mit den Technikern zu markieren. Im ersten Teil wird das der Empirie zugrunde gelegte

---

1 Im folgenden wird die Bezeichnung "Techniker" verwendet für die beruflich heterogene Gruppe der Ingenieure mit einer Ausbildung an einer Technischen Hochschule oder Fachhochschule und der Konstrukteure und Techniker, die z.T. auf innerbetrieblichen Karrierewegen (meist in einer Verbindung von Weiterbildung und beruflicher Auszeichnung) in vergleichbare Funktionen gelangt sind. Ebenso wird der generische Oberbegriff "Arbeiter" für die heterogene Gruppe der Facharbeiter, an- und ungelernten Arbeiter benutzt.

2 Vgl. vorhergehende Fußnote.

Konzept von *Innovationsarbeit* unter Rückgriff auf einige industrie- und organisationssoziologische Vorarbeiten entwickelt (Abschnitt 2.1) und darauffolgend in einer eigenen Konzeption präzisiert (Abschnitt 2.2). Schließlich werden anhand der schon im vorhergehenden Abschnitt benutzten Unterscheidungen von Produkt- und Prozeßinnovationen einerseits, von Einzel- und Serienfertigung andererseits die empirischen Ergebnisse dargestellt. (Abschnitt 2.3) Der letzte Abschnitt faßt die Ergebnisse zusammen und stellt eine Typologie der Innovationsbeiträge der Arbeiter vor.

2.1 Industrie- und organisationssoziologische Ansätze

Industrie- und organisationssoziologische Arbeiten vermuten aus unterschiedlichen Gründen einen "*intelligenten Eigenbeitrag*" (Malsch 1987) von Arbeitern in der Entwicklung und Anwendung neuer Technik. Während organisationssoziologische Konzepte insbesondere auf einen steigenden Subjektivitätsbedarf von Organisationen gegenüber Umweltirritationen verweisen (Schimank 1986; Behr 1995), stellt die Industriesoziologie - allerdings erst nach allmählicher Überwindung tayloristisch gebundener Theoriekonzepte[3] - die Bedeutung von Störungsregulationen, Optimierungs- und Algorithmisierungsbeiträgen der Arbeiter im Produktionsprozeß heraus. (PAQ 1987; Hoß 1988; Schumann u.a. 1994)

Daß hochentwickelte Industriegesellschaften keine allgemeine Tendenz zur Dequalifizierung der Arbeit durch Technisierung aufweisen und die "*Lücken der Arbeitsorganisation*" (Dörr 1991) durch "*subjektivierendes Arbeitshandeln*" (Böhle 1994) ausgefüllt werden, gehört zum neueren Wissensbestandteil industrie- und organisationssoziologischer Analysen. Das war nicht immer so.

Industriesoziologische Untersuchungen thematisieren die Bedingungen und Folgen der Einführung neuer Techniken im Betrieb und untersuchen den Wandel von Arbeitsformen, betrieblichen Hierarchien, Qualifikationen und Arbeitspolitiken. Sie

---

3 Böhle (1994) verweist darauf, "*wie stark der Taylorismus nicht nur die Verläufe betrieblicher Rationalisierung geprägt hat, sondern ebenso auch sozialwissenschaftliche Konzepte zu ihrer Analyse.*" (184) Der Taylorismus, so die Kritik von Böhle, "*bleibt auch dort, wo man von nicht-tayloristischen Arbeitsformen spricht, das zentrale Bezugssystem. Auf diese Weise gerät alles, was nicht-tayloristisch ist, zu etwas ganz anderem und birgt qua Definition Chancen für eine 'humane' Arbeitsgestaltung. Auf einem in dieser Weise sondiertem Terrain bleibt wenig Raum für Fragestellungen ganz anderer Art.*" (184)

legen damit den Schwerpunkt ihres Erkenntnisinteresses auf die Prozeßinnovationen. Die paradigmatischen Fragestellungen beziehen sich auf die Folgen der Einführung neuer Techniken für die Beschäftigten. Gefragt wird nach der Qualifikationsentwicklung, der Arbeitsorganisation, den Herrschaftsbeziehungen, der Leistungskontrolle und nicht zuletzt der Zukunft der Arbeit. Nun sind Fragestellungen dieser Art keineswegs überholt, doch lassen sie unberücksichtigt, welchen Anteil die Arbeiter selbst an der Hervorbringung der Technik haben, von deren Folgen sie aus Sicht der industriesoziologischen Folgenforschung nur bedroht sind. Horst Kern und Michael Schumann (1970) brachten dies einmal auf die prägnante Formel:

> "*Formen und Inhalte industrieller Arbeit stehen in Abhängigkeit zu den technischen Bedingungen, unter denen sich Arbeit vollzieht. Die entsprechend dem technischen Reifegrad variierenden Eigenfähigkeiten der technischen Apparatur bestimmen gleichsam als Restgröße die je spezifischen Arbeitsleistungen, die den Menschen abverlangt werden müssen, wenn diese Apparatur funktionieren soll.*" (20)[4]

Wenn auch in den industriesoziologischen Studien der siebziger und achtziger Jahre die Formen eines Technikdeterminismus zunehmend obsolet werden, nun Technik, Technikeinsatz, Arbeitsorganisation und Qualifikation als variable Größen betrieblicher Organisationsprozesse stärker konzeptualisiert werden (Altmann, u.a. 1978; Mickler u.a. 1976), bleiben weiterhin die sozialen Träger der Entwicklung technischer Artefakte im industriesoziologischen Forschungsdesign ungenügend berücksichtigt.[5] Entsprechend der Betroffenheitsperspektive industriesoziologischer Forschung wird nicht gefragt, welche Formen der Arbeitsorganisation und welche Qualifikationen benötigt werden, um im Bereich der Produktentwicklung den innovativen Anforderungen zu genügen. Dieser *blinde Fleck* der Industriesoziologie wurde Anfang der achtziger Jahre durch die Rezeption der Labor-Process-Debate berührt, blieb aber bei der Konzeptualisierung sozialwissenschaftlicher Technikforschung zunächst noch unbeachtet. (Wood 1986)

---

4 Obwohl Burkhard Lutz schon 1969 in seinem Vortrag auf dem Frankfurter Soziologentag vor einer zu engen funktionalistischen Beziehung zwischen menschlicher Arbeitstätigkeit, Produkt, Produktionstechnik und Arbeitsorganisation warnte und auf die Gestaltungsspielräume der Betriebe beim Einsatz von Arbeitskraft hinwies, bildete die Studie von Horst Kern und Michael Schumann das Referenzmodell für die industriesoziologische und in deren Folge die bildungs-, berufs- und arbeitsmarktbezogene Forschung. (Braczyk u.a. 1982; Brandt 1984; Schmidt 1980)

5 Zwar bilden beispielsweise die Ingenieur-Untersuchungen des Instituts für Sozialwissenschaftliche Forschung in München (Kammerer u.a. 1973; Lutz, Kammerer 1975) eine Ausnahme, doch wird auf mögliche Kooperationsbeziehungen zwischen Arbeitern und Ingenieuren in der Produktentwicklung nicht eingegangen.

1984 waren es wiederum die Göttinger Forscher Horst Kern und Michael Schumann, die mit der These der "*Reprofessionalisierung der Produktionsarbeit*" die industriesoziologische Debatte neu belebten und damit wesentlich zu einer Korrektur industriesoziologischer Forschung beitrugen. Während die Berliner Projektgruppe "Automation und Qualifikation" (PAQ) noch Mitte der siebziger Jahre mit ihrer provozierenden These "*Automation führt zur Höherqualifikation*" (zusammenfassend: PAQ 1987) als Exoten im industriesoziologischen Diskurs angesehen werden, trifft diese These in den achtziger Jahren allmählich auf einen breiteren Konsens.

Im Verlauf der neueren Debatte zur sozialwissenschaftlichen Technikforschung (Lutz 1987), die industriesoziologisch besonders vor dem Hintergrund der breiten Einführung neuer Kommunikations- und Informationstechniken geführt wird (vgl. Malsch, Mill 1992; Beckenbach, Treeck 1994), verlagert sich in den neunziger Jahren die Diskussion auf die Frage nach der Herausbildung eines neuen Arbeitstypus (*Systemregulierer*, *Automationsarbeiter*, *Hybrid-Facharbeiter*), die im Kern von der Entwicklung bzw. Veränderung von Arbeitsanforderungen an automatisierten Anlagen ausgeht. (Drexel 1989; Schumann u.a. 1990; Schumann u.a. 1994)

Angestoßen durch die arbeitsplatz- und abteilungsübergreifenden Rationalisierungskonzepte (*Systemische Rationalisierung*, *Neuer Rationalisierungstyp*, *lean production*) werden die 'Grundüberzeugungen' innerhalb der Disziplin neu sortiert: Die Thematisierung zwischenbetrieblicher Arbeitsteilung (Altmann, Sauer 1989; Düll, Lutz 1989), Hersteller-Anwender-Beziehungen (Asdonk, Bredeweg, Kowol 1990; Deiß, Döhl, Sauer 1990) und der '*systemischen*' Aspekte gegenwärtiger Rationalisierungskonzepte erodiert methodisch das klassische Konzept der Betriebsfallstudie (Lutz, Schmidt 1977) und theoretisch das Konzept einer *Logik kapitalistischer Rationalisierung*.

Mit der Etablierung der sozialwissenschaftlichen Technikforschung seit Mitte der achtziger Jahre gilt nun: Die Beziehungen zwischen Technikentwicklung, Arbeitsorganisation und Arbeitsanforderungen sind weder deterministisch noch zufällig, sondern lassen sich nur als komplexes und kontingentes Verhältnis von Marktanforderungen, Fertigungstechnik, Arbeitsorganisation und den innerbetrieblichen Interessenkonstellationen (Mikropolitik) fassen. Der Zusammenhang von Arbeitstätigkeit und Technikentwicklung läßt sich darüber hinaus nur dann hinreichend analysieren, wenn auch der

Zusammenhang von betrieblicher (Produkt- und Prozeß-)Innovation und Qualifikationsanforderungen untersucht wird. (Brasche 1989)

Als Ansätze, die wesentlich zu einer Weiterentwicklung industriesoziologischer Fragestellungen im Verhältnis von Technik und Arbeit beigetragen haben, können neben der schon genannten These der *Reprofessionalisierung der Produktionsarbeit*, das *Kreislaufmodell* von Malsch (1987) und die These eines *erhöhten Subjektivitätsbedarfs* (Schimank 1986) von Organisationen gelten.

Malsch (1987) setzt gegen die These eines "*Imperialismus der instrumentellen Vernunft*" (Weizenbaum 1978) ein Kreislaufmodell des Wissens. Im Prozeß der *Informatisierung des betrieblichen Wissens* entsteht demnach in einem ersten Schritt das notwendige Planungswissen der Techniker und Informatiker für die weitere Technisierung. Mit der später folgenden Implementierung neuer Technik wird betriebliches Erfahrungswissen nicht nur entwertet; vielmehr entsteht im Implementations- und Produktionsprozeß zugleich neues Erfahrungswissen, ein *positiver Algorithmisierungsbeitrag,* der die Funktionsfähigkeit und erneute Weiterentwicklung der Technik ermöglicht. *Positiver Algorithmisierungsbeitrag* meint, daß der

> "*auf 'Fremdbeobachtung' beruhende tayloristische Modus der Wissensenteignung an seine Grenzen (stößt). Er muß durch einen informationstechnischen Modus der Enteignung, Erzeugung und Transformation des Erfahrungswissens ersetzt werden. Dieser ist auf 'Selbstbeobachtung', aktive Informationskompetenz, intelligente Dateneingabe und den eigenständigen Algorithmisierungsbeitrag der beschäftigten Fachkräfte angewiesen.*" (Malsch 1987: 79)

Malsch analysiert die *eigenständigen Algorithmisierungsbeiträge* der Arbeitenden im Produktionsprozeß aus den Anforderungen zur Beherrschung und Regulation hochautomatisierter Produktionsprozesse. Behr (1995) fügt mit Bezug auf Baethge (1994) hinzu, daß von den - insbesondere jüngeren - Arbeitenden zunehmend stärker subjektbezogene Ansprüche an die Arbeit angemeldet werden[6], mit denen sich Unternehmen konfrontiert sehen. Diese reagieren darauf gegenwärtig mit Lernstatt-Konzepten, Qualitätszirkeln, Projektgruppen und diversen Weiterbildungsmaßnahmen.

Organisationssoziologisch wird "*der funktionale Bedarf hochtechnisierter Produktionsorganisationen an Subjektivität*" (Schimank 1986: 71) aus der notwendigen Wah-

---

[6] "Man will innerlich an der Arbeit beteiligt sein, sich als Person in sie einbringen können und über sie eine Bestätigung eigener Kompetenzen erfahren." (Baethge 1994: 246)

rung der (arbeits-)organisatorischen Ordnung begründet. Innerhalb des umstrittenen Kontroll-Paradigmas - insbesondere der amerikanischen und britischen Industriesoziologie (Braverman 1974; Edwards 1981) - degenerierte Subjektivität "*zur bloßen Marionette technischer Impulse*" (Schimank 1986: 74); aber auch die Kritik am Kontroll-Paradigma (Wood 1986), die die arbeitspolitischen Auseinandersetzungen in den Mittelpunkt der Betrachtung rückte, verblieb insofern noch innerhalb der alten Grenzen des Kontroll-Paradigmas, da sie die Annahme übernahm, daß die weitere Technisierung den Subjektivitätsbedarf reduziere. (74)

Schimank stellt diesem Paradigma ein *Subjektivitäts-Paradigma* gegenüber, wobei nun Subjektivität - anders als in der Industriesoziologie - nicht als Substanzbegriff, sondern als '*Relationsbegriff*' eingeführt wird. (75) Hier geht es um ein Verhältnis von personalen und sozialen Systemen, die wechselseitig füreinander Stabilitätsbedrohung als auch Konstitutionsbedingung sind. Letzteres werde im Kontroll-Paradigma übersehen:

> "*Personen erscheinen im Kontroll-Paradigma bestenfalls als ausführende Instanzen, schlimmstenfalls als Störenfriede sozialer Ordnung.*" (78)

Die organisationsbezogenen Leistungen von Subjektivität beziehen sich Schimank zufolge auf die Regulation potentieller Umweltirritationen von hochtechnisierten Produktionssystemen. Während die Technik eindeutigen Algorithmen unterliegt und die Reduktion sinnhafter Verweisungszusammenhänge im Maschinensystem *eingefroren* ist, besitzt Subjektivität demgegenüber die spezifische Leistung, zwischen Identität und Differenz im Umweltbezug vermitteln zu können.

> "*Als sinnhaft operierende Systeme vermögen Personen die durch Technik ausgeschlossenen Sinnverweisungen potentiell zu restituieren. In personalen Systemen ist Technik eben nicht eingefroren, sondern immer nur in einem gleichsam halbflüssigen Zustand und dadurch jederzeit verflüssigbar. Die durch die jeweilige Technik gesetzten Grenzen sinnhaften Operierens können überschritten werden. Diese ihrer Subjektivität innewohnende Fähigkeit personaler Systeme zur Techniktranszendenz ist der Schlüssel zum Subjektivitätsbedarf hochtechnisierter Produktionsorganisationen.*" (82)

Zwar verfügen auch hochtechnisierte Systeme über ein gewisses Maß an Selbstregulationsfähigkeit gegenüber Umweltvariabilität - zum Beispiel über den Einbau von Redundanz -, doch sind auch hier nur diejenigen Irritationen ausgleichbar, die zuvor von den

Ingenieuren/Technikern antizipiert wurden und in die Struktur des Systems eingeplant und -baut worden sind.

> *"Ein perfekt funktionierendes Maschinensystem setzt also voraus, daß sein Konstrukteur sämtliche potentiellen Umweltirritationen kennt. Das aber wird um so unwahrscheinlicher, je komplexer und damit voraussetzungsvoller in Bezug auf Umweltzustände ein Maschinensystem wird."* (Schimank 1986: 82)

Der organisationale Subjektivitätsbedarf leitet sich aber nicht nur aus der Komplexität der Maschinensysteme ab, er bezieht sich weiterhin auf die Variabilität eingesetzter Werkstoffe, Werkzeuge und Werkstücke. Organisationen sind hier verwiesen auf eine Wissensform, die Polanyi *tacit knowledge* (1958) nennt. Damit angesprochen ist ein durch Erfahrung sedimentiertes und habitualisiertes und deshalb nur vage explizierbares Wissen. Darüber hinaus benötigen Organisationen flexible Reaktionen auf Störgrößen, die physikalisch-chemischer Natur sind und die auftreten, wenn inputs in outputs verwandelt werden. (Vgl. auch Hoffmann 1979; Böhle 1992; 1994)

Die industrie- und organisationssoziologisch begründeten Annahmen eines Subjektivitätsbedarfs hochkomplexer moderner Produktionsstrukturen haben - über die bisher referierten Beiträge hinausgehend - auch Relevanz für die Analyse industrieller Innovationsprozesse. Das schon für die Vergangenheit kaum zutreffende Bild, daß innovationsrelevantes Wissen über neue Produkte allein im Management oder in den FuE-Labors konzentriert ist und die Arbeitenden nur Ausführende nach Plan sind, wird durch eine neue Beobachtungsperspektive ersetzt, nach der die Innovation als ein Ergebnis der gesamten Organisation, einschließlich ihrer Umweltbeziehungen, zu analysieren ist. Im folgenden wird die These entfaltet, daß die Technikentwicklung im industriellen Innovationsprozeß keinesfalls ausschließliche Domäne der Techniker ist; vielmehr wird herausgestellt, daß die *Lücken der Konstruktion* in der Werkstatt geschlossen werden. Dieser Sachverhalt wird mit dem Begriff der *Innovationsarbeit* markiert.

2.2 Innovationsarbeit

Seit der Untersuchung von Kern/Schumann (1984) häufen sich die empirischen Befunde für eine notwendige "*Gewährleistungsarbeit*" (Springer 1987) auch in hochautomatisierten Produktionsprozessen; dennoch reklamiert Hoß (1988) als Defizit der industriesoziologischen Automationsforschung, daß

> "*die menschliche Arbeitskraft als notwendige Grundlage einer permanenten Prozeß- und Produktinnovation ... noch kaum angemessen in das Bewußtsein der Industriesoziologie gedrungen (ist).*" (35)

Die Bewältigung der Einführung neuer Techniken bzw. neuer Verfahren, die beständigen Optimierungserfordernisse an automatisierten Anlagen und die Beteiligung an der Prozeß- und Produktentwicklung *im engeren Sinne* rechtfertigen es - so Hoß - von einem neuen Arbeitstypus zu sprechen, den er *Innovationsarbeit* nennt.[7]

Die Berliner "Projektgruppe Automation und Qualifikation" (PAQ 1987) geht in ihren Untersuchungen davon aus, daß Automation nicht hinreichend beschrieben ist, wenn sie als "*Ersetzung der informationsverarbeitenden Regelungstätigkeit der Arbeiter durch Regelkreise*" (24) dargestellt wird. Der *Ersetzungs-Logik* halten sie entgegen, daß menschliche Eingriffe an automatisierten Anlagen notwendig bleiben, da sie "*gewissermaßen in die Struktur von 'Programmen' eingeschrieben*" (27) sind. Sie unterscheiden vier notwendige Eingriffsarten:

> "*1. Störungsregulation bei gegebenen Prozessen;*
> *2. Verbesserungen der Prozesse bei gegebenem Ziel;*
> *3. Präzisierung der Prozeßziele;*
> *4. Planung der Prozeßziele.*" (28)

Der Bezugspunkt dieser Eingriffsarten liegt in den Anforderungen automatisierter Produktionsprozesse. Zur Präzisierung des Konzepts von *Innovationsarbeit*, das neben der Bedeutung der Arbeitsanforderungen bei Prozeßinnovationen insbesondere auch für die Produktinnovationen fruchtbar gemacht werden könnte, ist diese Konzeption aber einerseits noch zu eng, da sie allein auf die Arbeit an automatisierten Anlagen abstellt, andererseits aber noch zu allgemein, da sie lediglich in einem Punkt einen Hinweis auf die *Herstellung* neuer Produkte gibt. Jedoch enthalten die vier genannten Eingriffsarbeiten wesentliche Elemente für die Tätigkeitsanforderungen, die hier mit dem Begriff *Innovationsarbeit* gefaßt werden sollen. Eine weitere Präzisierung erfolgt nun durch den Rückgriff auf die Arbeiten von Hirschhorn (1984) und Rosenberg (1982).

Hirschhorn (1984) zeigt, daß die Abkehr von den starren Prinzipien mechanisierter Produktion nicht zu einer weiteren Restringierung menschlicher Arbeitskraft führt,

---

7 "*Innovation hört auf, ein Privileg der Forschungs-, Entwicklungs-, und Konstruktionsabteilungen zu sein.*" (Hoß 1988: 35)

sondern - auf der Grundlage der Entstehung eines kybernetischen Maschinensystems - einen neuen Arbeitstypus hervorbringt, den er "*developmental work*" nennt.

> "*In the mechanical age the semiskilled worker performed rote tasks; the skilled worker, varying tasks within a fixed framework. The postindustrial worker, in contrast, performs developmental tasks, operating at the boundary between old technical realities and emergent ones.*" (Hirschhorn 1984: 2)

Developmental tasks in dieser Perspektive beziehen sich auf Situationen, die durch Unsicherheit (*uncertainty*), unvorhergesehene Ereignisse (*contingency*) oder Mehrdeutigkeiten (*ambiguity*) geprägt sind und von den Arbeitern - in der Regel unter Zeitdruck - eigene Situationsdeutungen und dementsprechende Interventionen verlangen. In dem Maße, wie die Automatisierung von Technik und die Mediatisierung von Arbeit ("*the worker must control the controls*", S. 94) fortschreiten, entwickeln sich die Arbeitsanforderungen auf der Grundlage permanenten Lernens. Lernen und Lernen des Lernens werden in diesem Konzept zu einer dauerhaften Anforderung. (Ebd.: 95ff.) *Developmental tasks* reduzieren sich nicht auf Funktionsbeschreibungen einzelner Tätigkeitsanforderungen und sie lassen sich nicht als rein kognitive Anforderungen deuten: Sie beschreiben Anforderungen an ein integratives, permanent innovatives Verhalten in Situationen, in denen Unsicherheit, unvorhergesehene Ereignisse und Mehrdeutigkeiten wahrscheinlich sind.

Hirschhorns Konzeption kommt dem hier zu entwickelnden Konzept und den empirischen Resultaten in wesentlichen Punkten sehr nah. Um die Zusammenarbeit von Arbeitern und Technikern bei der Produktentwicklung in einem allgemeinen Sinne herauszustellen, also auch in nicht-automatisierten Produktionsprozessen, ist es aber nicht erforderlich, seine techniklastige Unterscheidung von qualifizierter Facharbeit und postindustrieller Arbeit und die Annahme, daß Facharbeit und Ingenieurarbeit im kybernetischen Fabriksystem konvergieren, beizubehalten.

Da der hier gewählte Bezugspunkt die rekursive Innovation ist, also nicht wie bei Hirschhorn die Veränderung von Arbeitsanforderungen bei mikroelektronisch basierter Technik - sein Bezugspunkt ist hier stärker industriesoziologisch -, soll der Begriff der *Innovationsarbeit* nun dahingehend präzisiert werden, daß er für Arbeitstätigkeiten reserviert wird, die sich auf die Entwicklung neuer Produkte und Prozesse beziehen; zugleich beansprucht dieses Konzept von *Innovationsarbeit* auch Geltung für Arbeits-

tätigkeiten, die an nicht-automatisierten Anlagen zu Innovationsbeiträgen von Arbeitern führen.

Innovative Arbeit bildet allgemein die Voraussetzung für den Aufbau von neuem Erfahrungswissen und die Beherrschung neuer Techniken und Verfahren. Auf der Grundlage von Erfahrungswissen und Prozeßbeherrschung ergeben sich dementsprechend die Innovationsbeiträge der Arbeiter zur Technikentwicklung. Eine weitere Präzisierung ist zu gewinnen, wenn zwischen innovativen Arbeiterbeiträgen zur Produkt- und zur Prozeßinnovation unterschieden wird.[8] Dazu wird die von Rosenberg (1982) herausgestellte Unterscheidung von *learning by doing* und *learning und using* wieder aufgenommen.

Wie bereits herausgestellt, bezieht sich *learning by doing* auf die Lernprozesse im Herstellungsprozeß einer Technik, *learning by using* auf die Lernprozesse im Verwendungskontext von Technik. (Vgl. Kapitel I, Abschnitt 3.2) Lerneffekte im Herstellungs- und Verwendungskontext von Technik können als Folge positiver Rückkopplungen (mit entsprechenden Beschleunigungseffekten) gesehen werden; zugleich stellen sie Ausfilterungen negativer Rückkopplungen dar (mit entsprechenden Erfahrungsverlusten). Lernen und Verlernen werden hier als zentrale Dimensionen der sozio-technischen Evolution verstanden. Die hier verfolgte Praxis des Innovationslernens bezieht sich allerdings nur auf den kleineren Ausschnitt der Kommunikation und Kooperation von Technikern und Arbeitern aus der Perspektive der Arbeitenden. Lernen im Kontext der sozio-technischen Evolution müßte darüber hinaus die innovationsrelevanten Probleme organisierter Komplexität zur Kenntnis nehmen und dementsprechend institutionelles und organisationales Lernen bzw. Verlernen konzeptionalisieren. (Vgl. Kap. V)

Der Begriff der *Innovationsarbeit* soll nun als Oberbegriff sowohl *learning by doing* als auch *learning by using* einschließen und diejenigen Arbeitsleistungen der Arbeitenden bezeichnen, die im Innovationsprozeß Produkt- und Prozeßverbesserungen hervorrufen. Dabei sollen Unterschiede der Innovationsarbeit bei Produkt- und bei Prozeßinnovationen deutlich werden; ebenso sollen die innovationsrelevanten Tätigkei-

---

8 In der Praxis sind die einzelnen Beiträge der Facharbeiter nicht in der folgenden analytischen Trennschärfe vorzufinden. Empirisch überschneiden sich die einzelnen Aspekte bzw. Typen von Innovationsbeiträgen und nicht in jedem untersuchten Unternehmen sind alle genannten Punkte vorgefunden worden.

ten von Routinetätigkeiten abgegrenzt werden wie auch von Tätigkeiten, die im Rahmen computergestützter Arbeit anfallen, aber nicht zu weiteren Entwicklungsaktivitäten oder Verbesserungen einer Innovation führen. Die Konzeption soll dazu beitragen, die Innovationsbeiträge von Arbeitern aus unterschiedlichen Werkstattbereichen und in unterschiedlichen Etappen eines Innovationsvorhabens systematisch empirisch zu erfassen und den Arbeiteranteil an der Technikentwicklung genauer als bisher zu markieren. Zugleich soll so ein Beitrag zu der in der Innovationsforschung erörterten Frage erbracht werden, warum Innovationen im zeitlichen Verlauf kostengünstiger und schneller erzeugt werden.

2.3 Empirische Resultate

Betriebliche Arbeitsteilung, Fertigungsorganisation und die eingesetzte Technik stehen in einem engen Zusammenhang mit der im Betrieb gefertigten Gesamtstückzahl (Betriebsgröße) und mit der durchschnittlichen Losgröße einzelner Produktreihen. Für die Serienproduktion war bislang eine strikte Arbeitsteilung in standardisierten Fertigungsprozessen bei hohem Formalisierungs- und Hierachisierungsgrad typisch. Hohe Stückzahlen und ein kontinuierlicher Output für einen anonymen Markt werden zumeist in der Form der Fließfertigung produziert. Die Produktion von Kleinserien bzw. Unikaten erfolgt in der Regel nach individuellen Kundenwünschen und wird überwiegend in der Form der Werkstattfertigung organisiert. Der Formalisierungsgrad im Betrieb ist deutlich geringer, das Qualifikationsniveau in den Werkstattbereichen oft höher als in der Serienproduktion.[9] Diese unterschiedlichen Organisationsformen generieren - so die hier zugrundegelegte Annahme - differierende Innovationsbeiträge der Arbeitenden. Im folgenden werden anhand der empirischen Befunde die jeweiligen Innovationsbeiträge der Arbeiter konkret vorgestellt.

---

9 Vgl. Hildebrandt, Seltz 1989. Durch den Einsatz flexibler Automatisierungstechniken ergibt sich allerdings eine tendenzielle Auflösung dieses Gegensatzes, vgl. Kern, Schumann 1984; Piore, Sabel 1989; Schumann u.a.1994.

2.3.1 Innovationsarbeit im Erzeugungskontext von Technik

Die Betriebe I, II, IV und VI der zugrundegelegten Innovationsfallstudien[10] gehören zur Sparte des Schwer- bzw. Sondermaschinenbaus (Unikat- und Kleinserienproduktion) innerhalb des Werkzeugmaschinenbaus. Hier erfolgen die Innovationsaktivitäten häufig auf Kundenwunsch, wobei die Kunden sehr genaue Produktanforderungen stellen, zum Teil sogar das erste Pflichtenheft liefern. Durchlaufzeiten von bis zu einem Jahr pro Auftrag sind durchaus gewöhnlich. Die Beschäftigten sind stolz auf ihre Präzisionsarbeit und identifizieren sich mit ihr. Die langjährige Betriebszugehörigkeit, das damit erworbene komplexe Erfahrungswissen und eine hohe praktische Problemsensibilität geben ihnen ein Gefühl von Unverzichtbarkeit. Die Aussage eines Betriebsrates beschreibt recht treffend dieses Selbstverständnis:

> "*Hier kannst Du in der ganzen Region suchen, Leute für unsere Präzisionsarbeit findest Du nicht.*" (VI, Betriebsrat 1: 4)

Daß der Umgang mit den konkreten Anwendungs- und Fertigungsproblemen die Domäne der Facharbeiter ist, wissen zumeist auch die Konstrukteure und Techniker. Dementsprechend bewerten sie die Bedeutung der Facharbeit für die Entwicklung technischer Innovationen sehr hoch:

> "*Alles das, was ein Facharbeiter an Erfahrung mitbringt, ist für uns unersetzlich. Ob das nun vom Anwender her zurück in die Herstellerfirma kommt oder ob das innerhalb des Betriebes ist - wir sind von diesen Facharbeitern abhängig.*" (VI, Techniker 1: 14)

Formen der Zusammenarbeit zwischen Technikern und Facharbeitern bei der Entwicklung neuer Techniken sind aber nicht auf den Sondermaschinenbau beschränkt. Die Unternehmen III und V bilden das Gegenstück zu den handwerklich und werkstattförmig organisierten Unternehmen I, II, IV und VI. Die Betriebe sind stärker formalisiert und hierarchisiert, die Innovationsprozesse abteilungsspezifisch konzentriert. Der allgemeine Weg einer Produktinnovation verläuft hier über die FuE-Abteilungen, Versuchsabteilungen (Prototypenbau) zur Sonderabteilung (Nullserie) und von dort in die Serienfertigung. Vor dem Hintergrund kürzer werdender Innovationszyklen stellen sich

---

10 Vgl. Asdonk, Herbold, Kowol 1995.

neue Anforderungen an die Produktentwicklung der Serienhersteller. Ein wichtiger Punkt ist hier die Anpassung der Innovationsorganisation an die verkürzten Innovationszyklen. Während früher alle 4 bis 5 Jahre eine neue Maschine auf den Markt gebracht worden ist, wird heute fast jedes Jahr eine neue Maschine zur Marktreife entwickelt. Infolgedessen ist auch die Produktlebensdauer rückläufig. Mit der Verkürzung des Innovationszyklusses ist auch ein höherer *moralischer Verschleiß* (Marx) der Maschinen verbunden.[11] Nach Aussagen unserer Gesprächspartner bedeutet dies eine größere planerische Unsicherheit. Konnten früher (bis in die 70er Jahre) Modellzyklen bis zu 10 Jahre umfassen, so haben sich diese jetzt erheblich verkürzt. Amortisationsberechnungen unterliegen bei turbulenter werdenden Märkten zunehmend dem Risiko, ob eine Neuentwicklung 3, 4 oder 5 Jahre am Markt zu halten ist.

Ein gewichtiges Problem angesichts verkürzter Produktlebenszyklen besteht für die Serienfertiger in der Anforderung, die Entwicklungs- und Fertigungszeiten einer Innovation deutlich zu senken und frühzeitige Rückkopplungen sowohl inner- als auch zwischenbetrieblich zu organisieren. Während die Rückkopplung aus den Verwendungskontexten über eine intensivierte Zusammenarbeit mit Pilotanwendern noch vor Beginn der Serienfertigung angestrebt wird, wird die interne Rekursion zunehmend über Projektgruppen organisiert. Ein wichtiger Hintergrund für die Einführung der Projektorganisation ist darin zusehen, daß *Top-down*-Modelle der Innovationsorganisation an ihre Grenzen gestoßen sind:

> *"Die Einführung von Projektgruppen hängt schlicht und einfach mit den Erfahrungen der Vergangenheit zusammen. Wir hatten massive Probleme bei einer Neuentwicklung und darauf aufbauend hatte man gesagt: 'Das kann es nicht sein.' Da hat man von oben was Fertiges aufgepfropft und zum zweiten noch versucht, irgendwo ein anderes Montagekonzept hinzukriegen und alle anderen dann nachher vor vollendete Tatsachen gestellt. Das hat überhaupt nicht geklappt."* (III, Projektleiter: 37)

Ein gewichtiger Vorteil der Projektorganisation besteht darin, daß frühzeitig Kritik an den Entwürfen und Konstruktionszeichnungen durch die Facharbeiter ermöglicht wird und so aufwendigere Verfahren einer nachträglichen Veränderung deutlich reduziert werden können. Allerdings können auch hier nicht alle Probleme antizipiert und vorab gelöst werden. Gerade durch kundenspezifische Modifikationen sowie spezielle An-

---

[11] Damit ist die Entwertung eines Produkts vor dem eigentlichen physischen Verschleiß gemeint.

bauteile entstehen immer wieder neue Probleme; in diesem Sinne reduziert die statusübergreifende Zusammenarbeit innerhalb der Projektgruppe potentielle Probleme, sie kann diese aber auch nicht vollständig ausschließen. Die Facharbeiter bewerten die Einführung der Projektorganisation sehr positiv und sehen in der Teamarbeit von Konstrukteuren und Werkstatt die Möglichkeit, das Ziel der Qualitätsverbesserung einer Innovation schneller zu erreichen:

> *"Ich führe das rein persönlich darauf zurück, daß man erkannt hat, daß man im Team wesentlich mehr erbringen kann, als wenn da einzelne über die Köpfe der Mitarbeiter entscheiden. Daß man die Qualität wesentlich verbessern kann."* (III, Facharbeiter$_1$: 52)

Die Versuchsabteilungen der Serienfertiger sind maßgeblich an der Produktinnovation der Unternehmen beteiligt und aufs engste mit der Entwicklung und Konstruktion verbunden. Hier werden die Prototypen einer neuen Serie gefertigt. Die Sonderabteilungen sind generell für die Produktion kleinster Serien zuständig, die in der Fertigung nicht rentabel produziert werden könnten (Losgrößen zwischen 10 und 50 Stück). Hier wird auch die Nullserie eines neuen Maschinentyps gebaut.

Die Arbeit in der Sonder- ebenso wie in der Versuchsabteilung läßt sich als eine Form der Einzelfertigung qualifizieren. Jede Maschine ist in diesem Entwicklungs- und Fertigungsstadium ein Prototyp. Da hier die einzelnen Bearbeitungsschritte zur Umsetzung konstruktiver Vorgaben und zur fertigungstechnischen Umsetzung in der späteren seriellen Fertigung festgelegt werden, tragen die Beschäftigten eine hohe Verantwortung. Zu spät entdeckte Fehler können einen hohen Ausschuß bedeuten. Zwar gibt es eine Qualitätskontrolle, die die Produkte der Sonderabteilung prüfen muß, doch das Festlegen einzelner Arbeitsschritte und deren Abfolge in der Fertigung ist Aufgabe der Facharbeiter in dieser Abteilung. Ihre Innovationsbeiträge sind produkt- und verfahrensbezogen, da sowohl Merkmale des Produktes als auch Verfahrensschritte zur Produktion festgelegt werden.[12]

> *"Hier ist alles gefordert, d.h. der Facharbeiter muß vom Auftrag, vom Material alles selbst erstellen, Längen ermitteln, den ersten Versuch fahren, dann muß er versuchen - schleif ich das,*

---

12 Die produktbezogenen Innovationsbeiträge der Facharbeiter in der Sonderabteilung ergeben sich auch daraus, daß dort kundenspezifische Produkte hergestellt werden, die weder in der Versuchsabteilung noch in der (Serien-)Fertigung (zu hohe Umrüstzeiten) hergestellt werden könnten.

fräs ich das - und die einzelnen Arbeitsgänge selbst festlegen, d.h. wir legen die Arbeitsgänge oder den Arbeitsplan selbst fest. Und so wie wir den Arbeitsplan festlegen, wird er dann meist auch übernommen für die Nullserie oder dann auch im Betrieb." (III, Facharbeiter/Sonderabteilung)

In der Sonderabteilung des Technikherstellers III arbeiten ausschließlich Facharbeiter und zwar zu ungefähr gleichen Anteilen Werkzeugmacher, Industriemechaniker und Elektroniker. Die Zusammenarbeit mit der Konstruktion ist nach Aussagen der Interviewpartner weniger eng als die der Versuchsabteilung während des Prototypenbaus, doch deutlich intensiver als die Zusammenarbeit zwischen Konstrukteuren und Facharbeitern in der Serienfertigung.

Wie läßt sich diese Wertschätzung und Bedeutung der Facharbeit im Innovationsprozeß erklären? Welche Tätigkeiten der Facharbeiter führen zu diesem hohen Stellenwert? Steht diese Wertschätzung nicht in einem auffälligen Kontrast zu denjenigen Darstellungen, die der Arbeit nur die Stellung einer abhängigen Variable im Prozeß technischer Entwicklungen zuordnen? Die Befunde der Innovationsfallstudien verdeutlichen, daß ohne das Erfahrungswissen der Facharbeiter, ohne ihre Improvisationen auf der Basis von Erfahrung - von *learning by doing* und *learning by using* - kaum eine Innovation zu haben wäre. Ohne die Handlungen der Facharbeiter, die eben nicht nur Ausführung, sondern auch Gestaltungseingriffe sind, würde kaum eine Maschine zum Laufen kommen:

"*Es besteht eine Zeichnung, aber nach dieser Zeichnung würde die Maschine nachher keine Leistung haben. Ich würde sagen, das Erfahrungswissen bezieht sich relativ häufig auf Formen, Größen, Kräfte, auf alle möglichen Berechnungen, die hinten und vorne nicht stimmen und einfach nachher nicht das gewünschte Ziel erreichen. Also, es werden stärkere Materialien, es werden längere Schrauben, es werden andere Lager, es werden andere Schmierfette genommen, die ganze Palette.*" (I, Facharbeiter: 1/22)

Die Kooperationsprozesse zwischen der Konstruktion und den Werkstattbereichen sind komplex und vielfältig; sie reichen von Beiträgen zur Entscheidungsfindung in der Entwurfsphase über Eintragungen auf den Konstruktionszeichnungen, beigelegten Skizzen, die unmittelbare Demonstration am Objekt bis hin zu den Eintragungen in sogenannte Mängelbücher und den fertigungs- und montagetechnischen Modifikationen im gesamten Realisierungsprozeß einer technischen Innovation. Diesen unterschiedlichen Innovationsbeiträgen wird nun detailliert nachgegangen.

2.3.1.1 Innovationsarbeit in der Entwurfsphase

Zu Beginn neuer Innovationsvorhaben führen die Techniker und die Verkaufsexperten der Unternehmen die Gespräche mit den zukünftigen Technikverwendern. Die hier in Abhängigkeit vom Neuigkeits- und Komplexitätsgrad der Innovation gegebenen Risiken der fertigungs-, montage- und steuerungstechnischen Realisierung werden nach den empirischen Erhebungen in einigen - aber nicht allen - Betrieben durch ein frühzeitiges Einbeziehen der Mitarbeiter aus Fertigung und Montage minimiert. Um montage- und fertigungsgerecht zu konstruieren, suchen beispielsweise die Techniker im Unternehmen V regelmäßig schon in der Entwurfsphase die Rückmeldung der Werkstatt, das Urteil der Meister und der Facharbeiter - vor allem wenn neue Fertigungsverfahren vorgesehen sind oder wenn die Machbarkeit konstruktiver Lösungen, die von bekannten Prinzipien abweichen, geklärt werden soll.

> "*Sobald wir etwas einigermaßen Sichtbares haben, trommeln wir die entsprechenden Leute zusammen, setzen uns an den großen Tisch und gehen das durch und sagen: 'Das und das haben wir vor'. Dann sagen die: 'Jetzt macht der denselben Mist ja schon wieder'. Oder fragen: 'Wie funktioniert das?' Oder einer sagt: 'Mensch, das ist aber schwierig, dies zu fertigen.'*" (V, Entwicklungskonstrukteur: 18)

Die rasante Entwicklung der Steuerungstechnik führt dazu, daß schon in der Entwurfsphase einer Innovation die Elektroniker mit hinzugezogen werden, um als Experten für die adäquate Auswahl von Software und Steuerungen auf mikroelektronischer Basis gehört zu werden.

> "*Ich habe den Vorschlag gemacht, diese Maschine nicht mit drei Steuerungen auszurüsten, sondern mit einer, die zwar drei Kanäle bearbeiten kann, aber sämtliche Informationen in einer Steuerung hat. Darüber haben wir mit den Leuten diskutiert. Das wollten die sich dann überlegen und nachher sagten die: 'Ja, ist gut so.'*" (II, Facharbeiter/Montage/Elektronik: 11)

Die Art der ausgewählten Steuerung war in diesem Fall auch für den Technikhersteller neu; der Umstand, daß der Technikanwender bei dieser Entscheidung anwesend war, ist ein Teil der von Hersteller II genutzten Strategie der Risikominimierung: Statt den Anwender zum "*Versuchskaninchen*" (II, Facharbeiter/Montage/Elektronik: 13) zum Test neuer Steuerungen und Verfahren zu machen, wurde er in die Abwägung von Chancen und Risiken und in die Entscheidung einbezogen.

Die Realisierung erster Entwürfe und Komponenten durch die Arbeiter impliziert eine Reihe von Anforderungen, die sich sowohl aus der Komplexität der Geometriedaten, den Materialeigenschaften und dem Verschleiß von Werkzeugen als auch aus der Komplexität des Zusammenbaus einer größeren Maschineneinheit ergeben können. Innerhalb der Konstruktionsphase werden die Arbeiter - fallbezogen - als Experten für die praktische Umsetzung einer Maschine in den Konstruktionsprozeß miteinbezogen. Bei Neukonstruktionen, die aus einer Vielzahl von Detailzeichnungen bestehen, obliegt es ihnen, erste Entwürfe einzelner Elemente zu realisieren und (präventiv) zu testen. Dabei entstehen wiederum Innovationsbeiträge, die die Konstruktionszeichnung praktisch korrigieren. Ein weiteres Beispiel verdeutlicht diese Anforderung:

> "*Es muß eine ständige Korrespondenz dasein. Wie können wir das machen, wie ist das sinnvoll, wie können wir das ausfräsen, wie können wir das drehen, welche Genauigkeiten müssen wir da haben, können wir das hier machen, und wenn nicht, können wir da eventuell einen anderen Weg gehen?*" (I, Konstrukteur: 1/51)

Diese Innovationsbeiträge führen nicht in jedem Fall zu einer Veränderung der konstruktiven Entwürfe; als *intelligenter Eigenbeitrag* (Malsch 1987) der Arbeiter liefern sie aber einen wichtigen Beitrag zu Entwurf und Konstruktion einer neuen Maschine.

Zusammenfassend: Die Zusammenarbeit der Techniker mit den *Praktikern* aus den Werkstattbereichen hat allgemein eine risikominimierende Funktion: Vor einer endgültigen Entscheidung über die Auslegung technischer Parameter bzw. über den Zukauf bestimmter Komponenten sollen die Eigenschaften dieser Elemente und mögliche Probleme erörtert werden, um so gegebenenfalls konstruktive Veränderungen noch vor Beginn der Fertigung vornehmen zu können. Fertigungs- und montagetechnische Erwägungen haben einen vergleichbaren Stellenwert. Die Offenheit bzw. partielle Unbestimmtheit der Konstruktionen und die Unvollständigkeit der technischen Zeichnungen haben mehrere Ursachen: Zum einen fehlt den Konstrukteuren die dreidimensionale Realität, die Anschaulichkeit des konkreten Objektes, in der sich Auslegungen und Konstruktionen als treffend oder verfehlt erweisen können. Die gedankliche Vorwegnahme und die rechnergestützte Simulation erweisen sich nicht bis ins Detail als geeignet, treffende Lösungen zu erzeugen. Zum anderen ist es nach Aussage unserer Gesprächspartner nicht möglich, alle fertigungs- und montagerelevanten Informationen auf einer technischen Zeichnung festzuhalten. Ein bestimmter Anteil dieser Informationen bleibt implizit und muß in der Werkstatt *dazu gedacht*, d.h. von den Facharbeitern

auf der Basis beruflicher und firmenspezifischer Kompetenz, d.h. ihres Erfahrungswissens, als ein Innovationsbeitrag erbracht werden. Mit einer *Innovationsorganisation durch Einbezug* werden in einer frühen Phase des Innovationsprozesses technische Entwürfe optimiert.

Die frühzeitige Kooperation hat eine überragende Bedeutung für den Innovationserfolg. Die Auffassung, daß die Techniker eine neue Technik entwerfen und konstruieren (und auch die Produktionsprozesse planen, steuern und, soweit erforderlich, innovieren), während die Facharbeiter in Fertigung und Montage in diesem Rahmen die gegenständlichen Artefakte herstellen, wird den empirischen Befunden nicht gerecht: Bereits Entwurf und Konstruktion einer neuen Maschine erzeugen einen *Kooperationszwang*, denn Konstruktionen und technische Zeichnungen, so wie sie in EuK erstellt werden, weisen oft nicht nur Fehler und suboptimale Auslegungen auf, ihnen fehlt auch die komplementäre Perspektive des empirisch-praktischen Erfahrungswissens, das die konstruktiv-abstrakte Entwurfstätigkeit ergänzt oder korrigiert. Die Innovationsbeiträge der Arbeitenden in der Entwurfsphase von Technik beziehen sich zusammengefaßt auf die Auswahl und Realisierung sowie das Testen technischer Parameter.

2.3.1.2 Innovationsarbeit im Prototypenbau und in Nullserien

> "*Und die Fertigungsleute, das sind ja zum Teil richtige Künstler. Die machen ja aus einem Stahlstück ein Goldstück, wenn Sie so wollen.*" (I, Konstrukteur: 1/17)

Die technisch-organisatorische Realisierung einer Konstruktionszeichnung bzw. die Umsetzung des Innovationsvorhabens in ein materielles Artefakt obliegt den unterschiedlichen Abteilungen des gesamten Unternehmens. Die Bandbreite dieser praktischen Realisierung erstreckt sich von der Teilefertigung über die Endmontage bis hin zur Implementation. Die Werkstatt ist der zentrale Ort des Geschehens.

Im Sondermaschinenbau geht es um die Minimierung von Risiken, die aus Neuigkeitsdruck und kontextspezifischen Verwendungsbedingungen resultieren und zu hohen konstruktiven und fertigungstechnischen Fehlerpotentialen führen können. Im Bereich der Produktinnovation in der Serienfertigung geht es um eine Risikominimierung, bei der frühzeitig technologische Probleme sowie mögliche Fehlerpotentiale der späteren Fließfertigung antizipiert werden sollen, da nachträgliche Qualitätssicherungsmaßnahmen das Produkt verteuern und den Marktzutritt verzögern können.

Modifikationen eines neuen Produkts gehen häufig von den Fertigungs- und Montageanforderungen aus, nicht selten führen sie zu Veränderungen des Entwurfs. Produktionswissen kann so in Konstruktionswissen transformiert werden. Aber erst durch ein Organisationsprinzip, das der Innovationsarbeit nicht nur den Stellenwert von ad hoc-Reaktionen auf unvorhergesehene Probleme einräumt, sondern sie planmäßig einbezieht, wird die Nutzung aller Wissensbestände möglich. Innovationsbeiträge beziehen sich zunächst auf die Zweidimensionalität von Zeichnungen und die Dreidimensionalität technischer Artefakte:

> *"Daß sieht ja auf dem Papier immer schön aus, so eine Konstruktionszeichnung. Es kann passieren, daß alles komplett geändert werden muß. Das Papier ist ja nur flach, das ist ja nicht räumlich."* (VI, Facharbeiter 2: 3)

Entweder verändern die Arbeiter selbst die Zeichnungen einzelner Teile oder veranlassen die entsprechenden Änderungen durch die Konstrukteure. Darüber hinaus sind bei der fertigungstechnischen Umsetzung einer Innovation Hinweise zur Montage zu beobachten, so daß die Innovation effizienter, kostengünstiger und montagegerechter realisiert werden kann.

Bei der Konstruktion neuer Maschinen findet sich teilweise keine strikte Phasierung des Innovationsverlaufs. Vielmehr werden die Innovationen in einem iterativen Wechselspiel zwischen Konstruktion und Werkstatt realisiert. Bezugspunkte der Kooperation sind die Materialeigenschaften der Werkzeuge, Werkstoffe und Werkstücke, sie zeigen sich bei der praktischen Realisierung von Konstruktionszeichnungen.

> *"Mit der Veränderung von Werkzeugen oder Werkstoffen kommen automatisch Fehlermöglichkeiten, die nicht voraussehbar sind, z.B. die Einführung eines neuen Werkstoffes, da kommt Verzug hinein; beim Bohren, beim Pressen - da tritt ein enormer Verzug ein, das muß wieder ausgeglichen werden. Das Werkzeug arbeitet immer und das zu bearbeitende Werkstück auch. Auch beim Ausrichten der Maschine gibt es Unterschiede, z.B. Temperaturunterschiede bei Tag oder Nacht."* (VI, Facharbeiter: 13)

Diese Probleme bedingen die wechselseitige Dependenz erfahrungsgeleiteter praktischer Arbeit und abstrakt-konstruktiver Entwurfsarbeit. Sie verdeutlichen einen weiteren Aufmerksamkeitspunkt: Zwischen der abstrakt-konstruktiven Arbeit eines Technikers und der empirisch-praktischen Tätigkeit des Arbeiters vor Ort - dem die Realisierung

des Entwurfs obliegt - bestehen Differenzen, die sich nicht theoretisch schließen lassen und sich erst im Herstellungsprozeß offenbaren.

Da anhand der Zeichnungen bekannt ist, in welcher Abteilung das Teil konstruiert worden ist, kommt meistens der Konstrukteur dazu, der "*ja seine Maschine im Kopf hat.*" (Ebd.) Die Zeichnungen werden dann nochmals korrigiert:

> "*Bei kleinen Fehlern, wie fehlerhaften Bohrungen, wird eigenständig nachgebohrt und anschließend in der Teilezeichnung nachgetragen. Diese Veränderungen werden von dem Konstrukteur nachgezeichnet. Die geänderten Zeichnungen gehen dann in die Werkstatt zurück - bei kleineren Korrekturen. Bei größeren konstruktiven Verbesserungen dauert es etwas länger, der schüttelt sich die Problemlösungen ja nicht aus dem Ärmel.*" (VI, Facharbeiter 1: 4)

Wird ein Teil erstmalig gefertigt, können zeichnerische Ungenauigkeiten, Materialabhängigkeiten, spätere Passungsprobleme usw. zu Modifikationen der Entwürfe führen. Desto häufiger die Fertigung eines Teiles erfolgt, desto eher ist zu erwarten, daß die Erfahrungen von Technikern und Facharbeitern sich verfestigen und über die gemeinsamen Lernprozesse (mit den entsprechenden Beschleunigungseffekten) in die betriebliche Praxis *eingeschrieben* werden (und aus der Rekursionschleife ausscheiden):

> "*Ich kann immer wieder etwas verbessern, erst wenn die Konstruktion zwei- oder dreimal gebaut worden ist, dann steht die Konstruktion.*" (VI, Facharbeiter 2, 6)

In der Montage muß sich dann erweisen, inwieweit die zweidimensionalen Zeichnungen dem antizipierten Endprodukt gerecht werden[13], inwieweit die in den Fertigungsbereichen realisierten Teile die geforderte Paßgenauigkeit besitzen und inwieweit die erwartete Präzision und Leistungsfähigkeit realisiert werden können. Dementsprechend werden hier neue technische Parameter generiert, die für die Techniker relevant sind: Ermittelt wird der notwendige Aufwand zur Realisierung von Konstruktionen in den Dimensionen Qualität, Kosten (Fertigungs- und Montageaufwand), Organisation (Lagerhaltung) und Produktionswissen (Prozeßinnovation). Wiederum sind intensive Kommunikationsprozesse zwischen der Konstruktion, Fertigung und der Montage notwendig. Gerade wenn es um ein neues Produkt geht, sind die Konstrukteure mehr-

---

13 Einschränkend gilt, daß eine vollständige Gewißheit auch hier nicht zu erzielen ist, da erst unter den Realbedingungen des Anwenders - also im Dauerbetrieb der Maschine -letztlich deutlich wird, ob eine Technik den vorgedachten Zwecken genügt oder ob empirische Abweichungen deutlich werden.

mals täglich in den Werkstattbereichen, um von dem empirisch-praktischen Know-how der Facharbeiter zu profitieren.

> *"Ich kann theoretisch Maschinen entwickeln und zeichnen und nie eine bauen. Und dann nach zehn Jahren habe ich den Bezug zur Basis verloren. Das muß schon permanent sein, vor allem die Qualitätsanforderungen steigen ja permanent, und wenn ich jetzt neue Grenzdaten festlege, dann muß ich beurteilen können, ist es machbar, oder für welche Dinge ist es machbar."* (IV, Konstrukteur: 8)

Zumeist handelt es sich um eine 'face-to-face'-Kommunikation, da zwischengeschaltete Medien (Skizzen, Telefon, on-line-Betrieb) den Nachteil der mangelnden Anschaulichkeit haben und die Facharbeiter geneigt sind, direkt am Objekt - deiktisch - über die Technik zu kommunizieren. Diese Kommunikation ist zweifach codiert: neben der technischen Machbarkeit geht es immer auch um die ökonomischen Realisierungschancen:

> *"Es muß alles machbar und finanzierbar sein. Man kann vieles machen und baut eine wunderschöne Maschine, nur kauft sie keiner mehr, weil sie zu teuer geworden ist. Ja, das muß man eben abwägen, man setzt sich zusammen, mit der Konstruktion, Probleme gibt es ja täglich und dann unterhält man sich schon mal. Der Konstrukteur fragt, 'Was würden Sie dazu sagen, können wir da noch irgend etwas ändern?' So geht das praktisch von Anfang an. Das geht dann schon um die Montage, wie könnten wir das einfacher machen, daß wir es schneller montieren können, das sind ja alles dann so Erfahrungswerte."* (I, Montageleiter: 7f.)

Ein Bereich, in dem die Montage auch konstruktive Leistungen erbringt, ist z.B. die Funktion der Spannvorrichtungen. Diese sind zwar vom Prinzip her festgelegt, aber gerade die Anpassung an die vom Kunden bereitgestellten Werkstücke macht immer wieder Änderungen notwendig. Hier ist ein gezieltes erfahrungsgestütztes Optimieren nicht völlig ersetzbar durch konstruktive Vorarbeiten. Zur Optimierung wird hier häufiger ein *fehlerfreundliches Probieren* gefördert.

Fehler in der Einzelteilefertigung, die in der zwischengeschalteten Qualitätskontrolle entdeckt (oder nicht entdeckt werden) werden, verursachen zeitliche Verzögerungen und Kosten. Die vielfältigen Fehlermöglichkeiten begründen einen hohen Koordinations- und Kommunikationsbedarf zwischen Konstruktion, Fertigung und Montage. Davon ist auch das *Outsourcing* betroffen. So traten beispielsweise im Unternehmen IV nach Aussagen unserer Gesprächspartner wiederholt Probleme in der Montage mit kostengünstigen Zulieferteilen auf. Diese Schwierigkeiten resultierten nicht nur aus

fehlender Qualität und Fertigungsgenauigkeit oder aus fehlender Termintreue. Die Teile erwiesen sich z.T. zwar als konstruktionsgerecht, sie entsprachen also den Vorgaben der Konstruktionszeichnungen, aber nicht den Montageanforderungen. Teile, die die Qualitätskontrollen durchlaufen hatten, weil sie den von der Konstruktion angegebenen Toleranzen entsprachen, wurden den Bedürfnissen der Montage dennoch nicht gerecht, weil sich in der Montagepraxis spezifische (*implizite, lokale*) Anforderungen an die Paßgenauigkeit herausgebildet hatten, die den Zulieferanten aber unbekannt geblieben waren. In einer räumlich engen Verknüpfung der Montage und Fertigung findet offensichtlich eine Feinabstimmung innerhalb der Innovationsorganisation statt, von der die Konstruktion keine vollständige Kenntnis hat, die aber für die Umsetzung der Zeichnungen und Entwürfe eine erhebliche Rolle spielt.

Auf der Grundlage von Erfahrungswissen ist es möglich, in Situationen mit unvollständigen oder nur partiell verläßlichen Daten zu entscheiden und zu handeln, eine Anforderung, die u.a. dann gegeben ist, wenn informatisierte Systeme ihre Schwachstellen offenbaren. Für die Unternehmen ebenso wie für den Ausbildungssektor stellt sich die Anforderung, den Leistungsversprechen der forcierten Informatisierung zu mißtrauen[14], um der Erhaltung und dem Aufbau von Erfahrungswissen genügend Zeit und Raum zu schenken. Insbesondere gilt es Grenzen mathematischer Modellierung zu beachten, was bedeutet, sich auf Situationen mit Mehrdeutigkeit, Unvorhersehbarkeit und Unsicherheit organisational einzulassen. In der Mehrzahl der von uns untersuchten Unternehmen fanden sich hierfür durchaus Belege. Abzulesen ist dies auch daran, daß sich nach Aussagen unserer Gesprächspartner die Statusdistanz zwischen den Berufsgruppen in den letzten Jahren immer mehr verringert hat. Statusunterschiede nivellieren sich zugunsten der sachbezogenen Kooperation.

Während in den Unternehmen II, IV und VI die gesamte Organisation auf zumeist informellen Wegen in das Innovationsgeschehen einbezogen ist, Innovationen hier in der Gesamtorganisation verankert sind (und fast jedes Produkt, das die Werkshallen verläßt, ein Prototyp ist), lassen in den Unternehmen I und V eine Ausdifferenzierung und stärkere lineare Organisierung des Innovationsprozesses beobachten.

Eine ganz andere Form der Organisation des Innovationsprozesses ist beim

---

14 "*Seit dem Beginn ihrer kommerziellen Verwertung wird Informationstechnik von einer Erwartungsaura umgeben, die stets weit über ihr tatsächliches anwendungsbezogenes Leistungspotential hinausreichte.*" (Lutz 1993: 765)

Serienfertiger III festzustellen: Hier wurde die lineare Ablauforganisation des Innovationsprozesses zugunsten einer stärkeren *Synchronisation* von Konstruktion und Fertigung und erster Montage aufgegeben. Beobachtet werden konnte eine Organisierung des Innovationsprozesses, die arbeitsplatz-, abteilungs- und betriebsübergreifend den Gesamtablauf einer Produktentwicklung sichert. Neben der Projektgruppe und den Abteilungen für Entwicklung und Konstruktion existiert hier ein spezieller Werkstattbereich für den Prototypenbau: die *Blue-box*. In dieser Abteilung findet die Produktentwicklung in enger Abstimmung zwischen Konstruktion/Entwicklung, Vertrieb, Qualitätskontrolle und den beteiligten Facharbeitern statt, die eine Projektgruppe bilden. Die personelle Zusammensetzung ändert sich mit dem zu entwickelnden Produkt; mittels Rotation wird versucht, temporär ein breites Spektrum von Mitarbeitern aus unterschiedlichen Unternehmensbereichen in den Entwicklungsprozeß einzubeziehen.

Für die Aktivitäten innerhalb dieser Abteilung - und um ihren Stellenwert besonders zu akzentuieren - hat die Geschäftsleitung den Begriff *Simultaneous Engineering* (SE) eingeführt. Dieser Begriff bezeichnet im Kontext des Unternehmens III die Zusammenführung von abstrakt-konstruktiver Entwurfstätigkeit und empirisch-praktischer Fertigung und Montage bei der Entwicklung technischer Artefakte und beim Bau von Prototypen. Die Techniker suchen frühzeitig Kontakt zu den Facharbeitern, konstruktive Anregungen und Spezifikationen ergeben sich '*im Vollzug*', d.h. in der fertigungs- und montagetechnischen Realisierung der Zeichnungen. Ein neues Produkt entsteht hier in einem engen Interaktionsgeflecht zwischen den beteiligten Berufsgruppen. *Simultaneous Engineering* bezeichnet eine auf Dauer gestellte Kooperation die der Innovationsarbeit von vornherein einen hohen Stellenwert einräumt. Unsere Gesprächspartner legten Wert auf die Feststellung, daß dieser Prozeß der Auseinandersetzung und Zusammenarbeit auch tatsächlich simultan am Objekt ohne zeitliche Verzögerung stattfinden kann - unter der Maßgabe der Gleichrangigkeit der beteiligten Akteure.

Simultaneous Engineering wurde vor dem Hintergrund kürzer werdender Innovationszyklen eingeführt. Es ist der Versuch, bei gesteigerten Innovationsaktivitäten eine Verkürzung der Entwicklungszeiten zu erreichen. Damit verknüpft sich die Erwartung, daß die Experimentierfreudigkeit aufgrund kurzer Kontaktwege ansteigt und Fehler in der Konstruktion schneller erkannt werden können: Änderungen können während der Detailkonstruktion und des Prototypenbaus direkt aufgenommen werden. Die Iterationsschleife von Entwurf, Realisierung, Testen, Fehleranalyse, Änderungen und noch-

maligem Testen, die für den Prototypenbau typisch ist, wird so zeitlich verkürzt und entbürokratisiert. Ein wesentlicher Teil der SE-Aktivitäten findet in der sogenannten *Blue-box* statt. Es handelt sich dabei um einen abgetrennten Bereich in der Werkstatt, in dem die Prototypen zusammengebaut werden. Hier finden ebenfalls Versuche und Tests statt, um frühzeitig kritische Teile zu identifizieren. Wenn die Versuche und Testreihen mit den Prototypen abgeschlossen sind, werden über den Vertrieb Pilotanwender angesprochen, um weitere - organisationsintern nicht mögliche - Tests durchführen zu lassen:

> "*Es gehört die Prototypenmontage dazu, wo wir die erste Zeitstudie beim Montieren machen. Es gehört das Bauen dazu, die Elektronik zu testen, zu untersuchen, inwieweit das Ganze servicefreundlich ist, also alles das, was wir eigentlich im Vorfeld brauchen. Es kann sein, daß wir dort in dem Versuchsfeld (Blue-box) eine Steuerungsplatine, die wir selber entwickelt haben, testen, um Erkenntnisse zu sammeln. Oder wir bauen einen ganz speziellen Teststand, auf dem wir Motoren oder sonstwas testen. Also, es kann eigentlich alles sein, um Risiken zu minimieren. Das was man vorher (vor der Serienproduktion, U.K.) als Risiko oder als Problem erkennen kann, also das, was wir nicht beherrschen können.*" (III, Ingenieur: 20)

Aus der Sicht des Innovationsprozesses dient die *Blue-box* einerseits der Reduktion von Risiken, die aus Technologie-, Fertigungs- und Montageproblemen resultieren. Solche Probleme sollen frühzeitig, d.h. vor dem Beginn der Serienfertigung, abgepuffert werden, um die Werkstattbereiche (Fertigung und Montage) friktionsfrei zu halten.

Andererseits geht es um die Verkürzung von Entwicklungs- und Produktionszeiten insgesamt, denn Probleme, die in der späteren Serienproduktion auftreten, sind kostspielig und erfordern zeitintensive Unterbrechungen, die im Innovationswettbewerb nachteilig sein können. Wichtige Punkte, auf die sich die Facharbeiterbeiträge hier beziehen, sind neben Mechanik, Hydraulik, Ergonomie und Handling die Montagefreundlichkeit der Maschine. Der Gruppenleiter führt während der Montage der Maschine ein Protokoll über auftretende Fehler und Probleme. Die schriftlich fixierten Punkte werden alle 2-3 Tage mit dem Konstrukteur durchgegangen und behoben.

Die Innovationsarbeit der Facharbeiter ist hier organisational gesichert und vollzieht sich in direkter und anerkannter Form. Verglichen mit der Zusammenarbeit von Konstruktion und Werkstatt im Sondermaschinenbau haben wir hier im Bereich des Prototypenbaus ähnliche, doch in einem entscheidenden Punkt abweichende Bedingungen vorliegen: Während die Zusammenarbeit zwischen Facharbeiter und Konstrukteuren im Sondermaschinenbau häufig informell, ungeplant und "*auf kaltem Wege*" (VI, Be-

triebsrat: 4) erfolgt, steht die *Blue-box* für eine Formalisierung und Institutionalisierung dieser Zusammenarbeit mit der ausdrücklichen Intention, Entwicklungs- und Realisierungszeiten einer Innovation zu verkürzen, und eine montagegerechte und servicefreundliche Version des Prototypen zu entwickeln und die Innovation durch die Montagefacharbeiter frühzeitig zu testen und zu erproben.

Die Kommunikation wird unterstützt durch die Konstruktionszeichnungen, in die Änderungen eingetragen werden können. Im Mittelpunkt der Kommunikation steht die Maschine:

> "*Wenn wir Änderungswünsche haben, machen wir das eigentlich nur an der Maschine. Dann zeigen wir denen: 'Hier so und so, aus dem und dem Grunde', dann können die sich das gleich vorstellen.*" (III, Facharbeiter/*Blue-box*: 33)

Die Kommunikation am Objekt ist als methodisches Vorgehen das Ergebnis bewußter Planung, um die Monteure so wenig wie möglich in die Schriftform hineinzuzwingen.

Nach dem Zusammenbau der Grundversion wird die Maschine umfangreichen Testprogrammen unterzogen. Darüber hinaus wird die Maschine dann in jeder weiteren Ausbaustufe (die später als Optionen angeboten werden, z.B. Abhöreinrichtungen, Hilfsvorrichtungen etc.) getestet. Außerdem werden hier die Mitarbeiter aus der Montage (der späteren Serienproduktion) schon während des Prototypenbaus über die Besonderheiten der Maschine instruiert, "*damit sie wissen, worauf es ankommt.*" Dieses Trainingsprogramm ist notwendig, um eine reibungslose Produktion zu gewährleisten. Die Schulung wird vom Gruppenleiter bzw. von den anderen Mitarbeitern in der *Blue-box* durchgeführt. Aus dem Know-how der Facharbeiter in der *Blue-box* ergeben sich viele Anregungen für die Montage- und Servicefreundlichkeit der Maschinen, für Sicherheitsaspekte sowie für das Handling und die Ergonomie. Die Monteure im Prototypenbau betreiben auch in einem gewissen Umfang *Eigenkonstruktionen*, diese beziehen sich auf konstruktive Lücken in der Ausführung der Maschine, aber auch auf den Ausgleich sogenannter *Fehlentwicklungen*.

> "*Da kommen Teile an, die sind wohl von der Zeichnung her richtig, aber irgendwo in der Handhabung geht das nicht (sie einzubauen). Und auch in der Funktion hinterher, es sieht auf dem Papier vielleicht manchmal ganz gut aus, aber im Endeffekt geht das so nicht.*" (III, Facharbeiter/*Blue-box*: 22)

Dann wird schon einmal "*ausprobiert*" und "*getüftelt*" (ebd.: S. 22); dieses Experi-

mentieren bezieht sich aber weniger auf das Gesamtkonzept als vielmehr auf bestimmte Komponenten oder Teile. Mit den *Eigenkonstruktionen* der Werkstatt sind Lösungsentwürfe bezeichnet, die Teile modifizieren oder anders auslegen. Diese Lösungen werden anschließend von der Konstruktion zeichnerisch erfaßt bzw. *nachholend konstruiert*.

Von den Facharbeitern in der *Blue-box* werden auch die Vorrichtungen und Hilfsmittel für die Serienproduktion entwickelt. Darüber hinaus wird im Rahmen des SE ein Montageplan erstellt - eine Tätigkeit, die traditionell Aufgabe der Arbeitsvorbereitung ist.

Obwohl die SE-Aktivitäten der Serienproduktion vorgeschaltet sind und damit ein Großteil der Montageanforderungen der Serie dort vorweggenommen wird, gelingt dies nicht vollständig. In der Linienmontage stehen Qualität und Fehlervermeidung für die Facharbeiter an erster Stelle. Sie erhalten ein Feedback bezüglich der Qualität ihrer Montagearbeiten aus der Endkontrolle/Endabnahme, in der ein ausführliches Fehlerprotokoll erstellt wird. Fehler werden ausgewertet und über den Gruppenleiter und Meister *auf dem kleinen Dienstweg* verhandelt. Die erste Kontrolle führen die Facharbeiter selbst durch, da sie es sind, die die Fehler wieder korrigieren müssen. Wenn unsauber gearbeitet wird, wird die entsprechende Person gezielt angesprochen. Die Verantwortlichkeit für einen Fehler ist - bis zu einem gewissen Grade - feststellbar, da Checklisten über einzelne Arbeitsgänge namentlich unterschrieben werden müssen. Der durchschnittliche Nachbearbeitungsumfang beträgt in der Regel 10 Restpunkte, die nach der Endkontrolle beseitigt werden müssen. Tendenziell nimmt der Nachbearbeitungsaufwand innerhalb der Serie ab (Nacharbeiten werden z.B. aufgrund von Lackschäden, sicherheitstechnischen Details, schlecht verlegten Kabeln, fehlenden Etiketten, undichten Schläuchen etc. erforderlich), wiederum ein Hinweis auf die über *learning by doing* erzielbaren Qualitätsverbesserungen und Kostenreduktionen.

Zusammenfassend läßt sich festhalten: Aufgabe der *Blue-box* ist die Realisierung des konstruktiven Entwurfs. Iterative Feinabstimmungsprozesse zwischen den Facharbeitern und den Technikern verringern die Diskrepanz zwischen Zeichnung/Konstruktion, den Montageanforderungen und dem gegenständlichen Artefakt. Durch diesen Prozeß erfahren die Konstruktionszeichnungen eine Vielzahl von Veränderungen, die in einem gewissen Umfang wiederum Rückwirkungen auf das Konzept selber haben. Eigenentwicklungen der Werkstatt beziehen sich einerseits auf Detaillösungen und

andererseits auf den Bau von Hilfseinrichtungen für die spätere Serienproduktion. Darüber hinaus werden im Prototypenbau die Maschinen in allen Ausbaustufen ausführlichen Testprogrammen unterzogen. Eine weitere reguläre Arbeitsanforderung läßt sich deshalb als *experimentelles Arbeitshandeln* qualifizieren. Nicht nur die komplette Maschine wird dabei bestimmten Tests unterzogen, sondern es werden auch Versuche an Teilkomponenten oder an Einzelteilen durchgeführt.

Aus der Sicht der Innovationforschung ist die *Blue-box* als ein der Serienproduktion vorgeschaltetes Verfahren der Unsicherheitsreduktion zu interpretieren. Mängel, die teure und zeitintensive Nacharbeiten erfordern würden, sollen im Vorfeld der seriellen Produktion erkannt und reduziert werden. Die Innovationsbeiträge beziehen sich deshalb auch auf die Kosten und Qualitätssteigerung der späteren seriellen Produktion. Unsicherheitsreduktion bezieht sich aber nicht nur auf die serielle Produktion, sondern darüber hinaus auf virtuelle Verwendungskontexte; getestet werden Funktionen, Hilfsmittel und Optionen für unterschiedliche Bearbeitungszwecke, die Zugänglichkeit von Verschleißteilen für Serviceeinsätze und das *Handling* der Maschine. Insofern geht es in der *Blue-box* auch um die Simulationsmöglichkeiten späterer Verwendungskontexte eines neuen Produkts. Allerdings bleibt zu beachten, daß es hier um Unsicherheitsreduktion geht und die vollständige Absorption von Unsicherheit nicht möglich ist. Daher gilt für den Serienmaschinenbau, daß erst im Produktionsprozeß eines Pilotanwenders Aufschluß darüber zu erhalten ist, ob die getroffenen technologischen Annahmen der Innovation im Verwendungskontext funktionieren.

Die Annäherung von Konstruktion und Werkstatt und die gleichberechtigten Einflußmöglichkeiten aller vertretenen Gruppen auf die Produktentwicklung stehen für die Institutionalisierung und *offizielle* Anerkennung der Innovationsrelevanz der Facharbeiter. Gerade die Spontaneität und Kreativität der Facharbeiter und ihre unmittelbaren praktischen Erfahrungen mit der Fertigung und Montage eines Objektes werden frühzeitig organisational integriert. Das betriebliche *Know-how* wird offensiv genutzt, die Phasen der Feinplanung und der Detailkonstruktion mit der Phase des Prototypenbaus und der Versuchsphase synchronisiert und verzahnt. *Simultaneous Engineering*, *Blue-box* und Projektorganisation sind etwa zeitgleich eingeführte Maßnahmen zur Verbesserung der Innovationsfähigkeit des Unternehmens. Folgende Ziele stehen im Interesse dieser Re-Organisation:

- die Verkürzung der Innovationszeiten,

- die bessere Integration des betrieblichen Erfahrungswissens,
- Vermeidung von aufwendigen Nacharbeiten bzw. Nachbesserungen,
- eine friktionsfreie Serienproduktion und
- eine Entlastung des betrieblichen Vorschlagswesens.

Innovationsbeiträge von Facharbeitern in der Einzelfertigung sind abteilungsspezifisch unterschiedlich, insgesamt aber als alltäglich und vielfältig zu bezeichnen. Facharbeiter kritisieren und realisieren bei der praktischen Umsetzung von Zeichnungen die Konstruktionsarbeit der Techniker; sie entwickeln Verbesserungsvorschläge und beeinflussen dadurch die letztliche Ausgestaltung einer Technik. Ihr empirisch-praktisches Wissen über Werkstoffe, Werkstücke und Werkzeuge, über Bearbeitungs- und Fertigungsverfahren und die fertigungstechnische Machbarkeit führen zu wichtigen Anregungen für die Techniker und zur Korrektur und Veränderung der Entwicklungs- und Konstruktionsvorhaben.

Innovationsbeiträge von Facharbeitern in der Serienfertigung erfolgen vor allem in den Versuchs- und Sonderabteilungen bzw. auch in den *simultaneous Engineering*-Projektgruppen. Facharbeiterspezifische Beiträge zur Produktinnovation aus den Montagebereichen sind deutlich geringer. Fertigungstechnische Probleme werden mit dem Bau eines Prototypen oder einer Nullserie in der Versuchs- oder Sonderabteilung aufgedeckt. Mit der Zunahme der Losgrößen wächst die Wahrscheinlichkeit, daß die Betriebe Spezialabteilungen für den Bau von Modellen, Prototypen und Nullserien sowie für die Qualitätskontrolle ausdifferenzieren.

2.3.1.3 Innovationsbeiträge während der Inbetriebnahme und experimentellen Implementation

Der Entwurf einer neuen Maschine - die Konstruktionszeichnung - ist die theoretische Verkopplung von begründeten Annahmen über die Funktionsfähigkeit einer Technik und die Angemessenheit einer Lösung für einen oder mehrere vergleichbare Verwendungskontexte. Inwieweit die theoretischen Annahmen, die mit der Neukonstruktion verbunden sind, den praktischen Fertigungs- und Montageproblemen entsprechen, ist ex ante nie vollständig zu beantworten. Die basale Unsicherheit, die den Schritt von einem Problem zu einer Lösung (der Innovation) auszeichnet, wird deshalb sukzessive in diversen Testphasen bearbeitet. Die Bandbreite der Unsicherheitsreduktionen durch

Tests liegt zwischen Berechnungen und Simulationen in der Phase der Konzeptentwicklung und dem Dauerbetrieb der Maschine beim späteren Technikverwender. Ein Entwurf wird erprobt und die Ergebnisse des Tests führen zur Veränderung der Entwürfe, die wiederum zu neuen Tests führen können. Das Testen technischer Parameter ist ein integraler Bestandteil des Lebenszyklusses einer Maschine. Dabei können analytisch zwei Testzyklen unterschieden werden:

- Bevor der erste Prototyp einer Werkzeugmaschine zu einem Verwender kommt, sind im Herstellerbetrieb Tests durchzuführen, die sich einerseits aus den vertraglich kodifizierten Verabredungen (z.B. Leistungsdaten) ergeben, andererseits normativ-regulativen Anforderungen (z.B. Unfallverhütungsvorschriften, Umweltauflagen, Sicherheitsbestimmungen etc.) genügen müssen. Getestet werden Komponenten, Bauteile, Werkzeuge, das mechanische und elektronische Verhalten der Maschine sowie die Technologie- und Geometriedaten. Die durchgeführten Tests enden mit einem Abnahmeprotokoll. Aber nicht alle möglichen Fehlerquellen der Technik können hier entdeckt werden.
- Die verbleibenden Unsicherheiten, die sich aus dem konkreten Verwendungskontext des Nutzers und aus dem späteren Dauerbetrieb der Maschine ergeben, werden in einem zweiten Testzyklus bearbeitet: Die zweite Inbetriebnahme beim Technikverwender und das Einfahren der Anlage im Dauerbetrieb können neue Probleme aufwerfen und neue Tests - auch nochmals beim Hersteller - erfordern. Dieser Testzyklus wird mit dem Terminus der *experimentellen Implementation* gekennzeichnet.

Obwohl die herstellerinternen Testergebnisse mit der späteren Praxis "*nicht ganz genau*" übereinstimmen müssen, bilden diese Tests einen wichtigen Schritt zur Unsicherheitsreduktion. Komplexe Wechselwirkungen von Werkstücken, Werkzeugen und Werkstoffen werden durch die Einbeziehung einer Leistungsreserve (Redundanz) ausgeglichen. Grundsätzlich bilden die Tests eine kritische Größe im Zeitplan des Innovationsprozesses, da nicht vorausgesehen werden kann, ob sie erfolgreich sind oder ob geringfügig oder essentiell nachkonstruiert werden muß:

> "*Es kann sein, wenn die Maschine von Anfang an den Anforderungen entspricht, daß diese Testphase hier im Betrieb nach einem Vierteljahr abgeschlossen ist, es kann auch sein, wenn es irgendwo Probleme gibt, daß das Ding ein halbes oder ein dreiviertel Jahr hier steht. Und daß dann während dieser Zeit gebastelt wird.*" (I, Konstrukteur: 47)

Mit dem Begriff "*basteln*" ist hier eine inkrementale Praxis bezeichnet, in der Techniker und Monteure gemeinsam in einem *trial and error*-Verfahren Tests durchführen, Versuche fahren, Optimierungen, Kompensationen und Modifikationen vornehmen und diese erneut untersuchen und praktisch erproben. Hier handelt es sich aufgrund der betriebswirtschaftlichen Belastungen um eine äußerst prekäre Situation, in der die Verdichtung des interaktiven Lernens zeitlich, sachlich und sozial hochgradig relevant ist. Je friktionsfreier sich die statusübergreifende Kooperation gestaltet, desto eher sind neue Problemlösungen erreichbar.

Unabhängig davon ergeben sich für fast alle Technikhersteller unter den Bedingungen der Globalisierung, der Produktdiversifikation und der Verkürzung der Produktlebenszyklen neuartige Probleme, die die Möglichkeiten zur Durchführung der Tests zusätzlich begrenzen:

- die größere Spezialisierung von Werkzeugen der Technikverwender,
- das fehlende Wissen über die speziellen Arbeitsanforderungen und die arbeitsorganisatorischen Bedingungen,
- die Schwierigkeit, die Vielfalt betrieblicher Verwendungskontexte zu modellieren.

Der Sondermaschinenbau reagiert hierauf, indem Inbetriebnehmer, Monteure und Außendienstmitarbeiter besonders qualifiziert werden und sie die Montage und diverse Testphasen von Beginn an mitbegleiten, um die Implementationsprobleme einer Sondermaschine möglichst gering zu halten und um im Problemfall schnelle Lösungsstrategien parat zu haben.

Die Serienfertiger versuchen die verbleibenden Unsicherheiten durch den frühzeitigen Einbezug von Pilotanwendern, die möglichst verallgemeinerungsfähige Verwendungsbedingungen repräsentieren, zu begrenzen. Im folgenden werden deshalb die Innovationsbeiträge der Außendienstmitarbeiter bei der innerbetrieblichen und anwenderspezifischen Inbetriebnahme vorgestellt.

Beobachtet werden kann, daß sich in den letzten Jahren der Aufgabenbereich von Außendienstmitarbeitern stark verändert hat. (Vgl. Weißbach u.a. 1990) Mit dem Übergang von Verkäufer- zu Käufermärkten und dem allgemeinen Trend zum *Outsourcing* sind die Anforderungen an die technikherstellenden Unternehmen drastisch gewachsen. Kundenspezifische Anforderungen an die Technik verlangen immer wieder

nachträgliche Modifikationen an bereits verkaufter Technik. Termintreue und Servicefreundlichkeit werden zu einer entscheidenden Wettbewerbsdimension. Die Außendienstmitarbeiter, die in der Regel erfahrene Monteure mit einer qualifizierten Berufsausbildung sind, sind nach Einschätzung des Montageleiters aus Unternehmen I "*die besten Facharbeiter*" (I, Montageleiter: 1/18), sie haben die vielfältigsten Maschinenkenntnisse und müssen sich mit allen Produkttypen auskennen.

> "*Sie sind für uns natürlich von großer Bedeutung. Denn wir bauen die Maschinen und nach der Inbetriebnahme sehen wir die ja nicht mehr. Die Außendienstmitarbeiter sehen die Maschinen auch noch, wenn sie 3 oder 4 Jahre alt sind. Und die haben dann praktische Vorschläge, etwa: 'Wenn wir das jetzt so machen, dann haben wir nach 3 Jahren diese Probleme nicht mehr.' Und wie gesagt, für diese Hinweise sind wir sehr dankbar.*" (I, Montageleiter: 1/17)

Crozier/Friedberg (1979) bezeichnen die Position dieser betrieblichen Funktionsgruppe als "*Relais*", denn sie reproduzieren die außerbetrieblichen Anforderungen der Kunden und das Marktverhalten der Konkurrenz, andererseits produzieren sie nach außen das Image des Betriebs, sein Leistungsspektrum und seine Kompetenz. Der ständige Kontakt der Außendienstmitarbeiter mit den Technikverwendern ist eine bedeutsame Informations- und Innovationsquelle für die Unternehmen. Die 'relevante Umwelt' eines Unternehmens kann über die Außendienstmitarbeiter der organisationsinternen Bearbeitung zugeführt werden. Bezogen auf den rekursiven Prozeß einer Innovation, ist es insbesondere diese Akteurgruppe, die den Prozeß der rekursiven Schließung zwischen Verwendungs- und Herstellungskontext sichert. Informationsgewinnung, -selektion und -transfer sind wesentliche Leistungen, die diese Akteure in den Innovationsprozeß einbringen.

Gerade weil Investitionsentscheidungen zunehmend durch nichtpreisliche, transaktionskostenreduzierende Kriterien begründet sind, beispielsweise durch den Service eines Technikherstellers, sein Renommee und seine Verläßlichkeit, und weil mit der Zunahme der Kapitalintensität neuer Techniken deren Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu einer primären ökonomischen Dimension für den Technikverwender werden, stellen die Außendienstmitarbeiter an dieser Schnittstelle eine wichtige Funktionsgruppe dar. Sie vermitteln insbesondere die qualitativen Merkmale der Kontrakte zwischen den technikherstellenden und -verwendenden Unternehmen,

a) bei der ersten Inbetriebnahme beim Technikhersteller;

b) bei der zweiten Inbetriebnahme beim Technikverwender;

c) in der Gewährleistungsphase;

d) bei Störfällen, Reparaturen und fertigungstechnischen Problemen des Anwenders;

e) bei der Schulung des Personals:

Die Tätigkeit von Außendienstmitarbeitern hat eine Transformation der Arbeitsanforderungen von der Mechanik hin zur Elektronik erfahren, die Probleme sind abstrakter geworden. Der Wertumfang der mechanischen Komponenten an den Werkzeugmaschinen nimmt kontinuierlich ab, Getriebe sind häufig nicht mehr notwendig. Die Antriebe sind stufenlos regelbar, Neukonstruktionen werden mit möglichst wenigen beweglichen Teile entworfen. Die verbleibende Mechanik ist vor allem genauer und präziser geworden. Wenn die Maschine in ihren mechanischen Komponenten grob ausgerüstet und elektrisch verdrahtet ist und die elektronischen Aggregate und Bausteine integriert sind, beginnt ein systematisch gegliederter Testzyklus, in dem alle elektronisch und steuerungsbasierten bzw. -vermittelten maschinellen Funktionen sukzessive überprüft werden. Leistungs- und Funktionsmerkmale werden hier sukzessive abgeglichen. Prüfung, Fehlerdiagnose und Korrektur bilden eine Einheit. Insbesondere in der Endphase der Inbetriebnahme können sich mechanische und elektronische Wirkungen überlagern, was erhebliche Zurechnungsprobleme beschert. Informelle Kooperationen sind hier alltäglich.[15]

Durch die personale Identität von Service und Montage wird auch sichergestellt, daß spezifische (implizite) Festlegungen so vorgenommen werden, daß spätere Serviceeinsätze minimierbar sind. Dies ist u.a. deshalb eine notwendige Praxis, da es immer wieder Fälle gibt, bei denen beispielsweise nach Maßgabe der Konstruktionszeichnungen gefertigt und montiert worden ist und damit zwar die Funktion der Maschine gegeben war, aber das verwendungsspezifische *setting* unbeachtet blieb oder beispielsweise die Servicefreundlichkeit. Inbetriebnahmen müssen die Einrichtung der Technik mit den lokalen Organisationsanforderungen synchronisieren. Die *Innovationsarbeit* der Außendienstmitarbeiter während der experimentellen Implementation umfaßt vorwegnehmend das Anpassen, Optimieren und Gewährleisten der technischen Funktionen im Verwen-

---

[15] Vgl. zu den arbeitssoziologischen Tätigkeitsprofilen der Inbetriebnehmer Schumann u.a. (1994).

dungskontext; darüber hinaus das Transferieren technologischer Parameter, denn einerseits wird herstellerspezifisches Know-how zum Technikverwender weitergegeben, andererseits resultieren aus den Serviceeinsätzen potentiell innovationsrelevante Daten, die als neues Wissen in die eigene Organisation rückgekoppelt werden können. Abschließend soll nun der kontextspezifischen Einpassung neuer Technik im Verwendungskontext nachgegangen werden.

Die Inbetriebnahme beim Technikverwender läßt sich allgemein in zwei Phasen unterteilen: Zunächst muß die Maschine aufgebaut werden. Nun finden Funktionsprüfungen, Messungen und Personaleinweisungen statt. Eine zweite Phase bildet die wirtschaftliche Inbetriebnahme. Je nach vertraglich vereinbarten Fristen muß nun die Technik unter alltäglichen Betriebsbedingungen ihre Funktionstüchtigkeit erweisen. Nach diesem Zeitraum endet die Gewährleistungspflicht und es erfolgt die Endabnahme. Normalerweise erfolgt dann die Überweisung einer jeweils vertraglich vereinbarten Restsumme.

Nachdem die erste Inbetriebnahme im Herstellerunternehmen abgeschlossen ist, wird die Maschine abmontiert, verpackt und zum Kunden überführt, dort neu aufgebaut und es wird eine zweite Inbetriebnahme vorgenommen. Die Maschine wird entsprechend den fertigungstechnischen Problemen des Technikverwenders eingefahren, es werden Meßprotokolle erstellt und die Maschine wird erneut optimiert:

> "*Das Optimieren geschieht draußen dann nochmal. ... Es muß also alles optimal laufen. Die Maschine muß optimal einfahren und darf nicht überschwingen. Das muß man auch noch einstellen. Unter Umständen muß ich solche Einstellungen auch machen, oder man muß sie etwas schlaffer oder brisanter machen, daß sie an der Kontur bleibt, und das über Parametereinstellungen, da greift man dann schon stark ein.*" (I, Monteur: 1/9f.)

Die Anpassung an die kontextspezifischen Anforderung bringen es mit sich, daß nach der Montage der Maschine eine weitere Optimierung der Programme vorgenommen wird. Hier sind zum Teil eigene, kreative ad-hoc-Lösungen der Monteure notwendig. Die Außendienstmitarbeiter greifen auch in die fertigungstechnischen Verfahren der Anwender ein, sie beraten diese und optimieren deren Fertigungsverfahren. Mit diesen Innovationsbeiträgen bahnen sie auch erste Kontakte für weitere gemeinsame Innovationsprojekte an. Sie verfügen über das Know-how zur betriebseigenen Produktpalette

und können Lösungsvorschläge für die Fertigungsprobleme des Technikverwenders unterbreiten:

> *"Es geht soweit, daß ich also auch Maschinen quasi verkaufe, daß ich also einen Kunden direkt anspreche. Und man unterhält sich mit ihm, die Vorteile spricht man mit ihm durch, und man sagt: 'Gut, kommen Sie mal ins Haus. Wir haben bei uns im Haus - können Sie mit ihrer Geschäftsleitung abmachen - bestimmt noch Möglichkeiten, Sie näher zu informieren'. Der Mann kommt ins Haus, guckt sich das an, findet das alles doch gut und eines Tages hat der bestellt."* (I, Monteur: 1/6ff.)

Ergeben sich aus einem Innovationsfall Gewährleistungsansprüche des Kunden gegenüber dem Hersteller, sind es wiederum die Monteure, die die gewährleistenden Aufgaben übernehmen. In Problemfällen werden die Monteure zu Verhandlungen dazu geholt und gehört. Auch hier ist ihr Erfahrungswissen eine wichtige Voraussetzung für die Problemlösung, die dann sowohl Innovationsbeiträge auf der Produkt- als auch auf der Prozeßebene einschließen kann. Dabei bilden Ähnlichkeitsrelationen eine Form der Problemlösung. Aufgrund häufiger Serviceeinsätze bei unterschiedlichen Kunden werden innovative Problemlösungen von einem Verwendungskontext auf einen anderen übertragen. Selten geschieht dies in Form einer einfachen Übertragung; häufig bestehen die Lösungsstrategien aus einer Kombination bekannter und vermuteter Lösungen und experimenteller Erprobung:

> *"Da werde ich geholt. Des öfteren bei solchen Problemen, wo dann die Geschäftsleitung vom Kunden da sitzt. Nach ein paar freundlichen Floskeln gehen Fakten über den Tisch. Und dann geht es auch immer um viel Geld. Die Kaufleute sind da knallhart. ... Wo man sagt: 'Ja, ich sehe das so, daß wir z.B. eine hydraulische Beistellung der Achsen - der Leisten haben müssen'. 'Wie stellen Sie sich das vor'? 'Ja, ich stelle mir das so vor, daß hydraulische Kolben in die Leisten eingebaut werden, in unsere Führungsleisten und die Beistellleisten immer an mehreren Punkten flächendeckend angepreßt werden, das kenne ich aus dem Unternehmen X, die haben es ähnlich gelöst ... Wo man gesagt hat: 'Das finden wir gut. Sehen wir ein ... gut, diese Änderung möchten wir dann erst noch sehen, bevor wir jetzt ein entscheidendes Urteil über die Maschine geben'. Und das haben wir dann auch bei denen eingebaut und wir haben die Leistungen der Maschine wesentlich höher schrauben können, als die gefordert haben. Das war dann meine Idee, die Leisten hydraulisch an der Führung zu halten."* (I, Monteur: 1/32f.)

Da die Außendienstmitarbeiter den Kontakt zu vielen Kunden haben, können sie durch die Häufigkeit, mit der Fehler bei bestimmten Maschinentypen auftreten, zu einer Systematisierung der Schwachstellen kommen, die dann beim Hersteller eine Priorität der Konstruktionsaktivitäten begründen (kann). Die Außendienstmitarbeiter notieren die

jeweiligen Schwachpunkte einer Technik. Im Kontakt mit unterschiedlichen Kunden, die jeweils unterschiedliche Fertigungsaufgaben erfüllen müssen, werden die technischen Daten generiert, die auf regelmäßige Schwachstellen einer Technik verweisen. Die Monteure, die die Maschinen warten und reparieren, besitzen daher das größte empirisch-praktische Wissen über die Produktpalette eines Technikherstellers. Ihr Stellenwert wird innerbetrieblich dementsprechend besonders hoch bewertet.

> "*Viele Ideen kommen von unseren Servicemonteuren. Draußen der Mann, der muß halt innovativ tätig werden, weil er da beim Kunden steht. Die Maschine ist aufgebaut und das läuft alles nicht so, wie man sich das vorstellt. Jetzt war auch wieder ein Fall, das hat er auch ganz gut gelöst, indem er einfach oben noch ein Gegengewicht auf den Kopf draufgepackt hat. Da kommt man auch so gar nicht drauf, und da haben die eben experimentiert. Und dann haben die eben einfach mal so einen Stahlklotz da oben draufgelegt, das hat funktioniert ... Erst ist es Improvisation, und dann hat sich daraus ja eine Innovation ergeben.*" (I, Betriebsleiter$_1$: 24)

Bei den ständigen Anwenderkontakten ergeben sich für die Außendienstmitarbeiter auch interessante Einblicke in die Konkurrenzprodukte. Alternative Lösungen technischer Probleme geraten - vermittelt über die Monteure - somit ins Blickfeld der Technikhersteller. Da es sich nur selten um Patente handelt, liegt hierin eine wesentliche Quelle für die Berücksichtigung technischer Alternativen bei einer Neukonstruktion:

> "*Ich habe da auch die Möglichkeiten, hier zur Konstruktion zu gehen und zu sagen, 'Ich habe mal bei denen geguckt, die haben das so und so gelöst', daß ich also so etwas auch weitergebe. Entweder sagen die, 'Das wissen wir schon', oder sagen: 'Ach ja, ist ja interessant.'*" (I, Monteur: 1/17)

Ein Problem in Zeiten rasch aufeinanderfolgender Produktlebenszyklen ist das Qualifikationsniveau der Instandhaltungsarbeiter. Nicht immer können sie die neuesten technischen (mechanischen und elektrotechnischen) Funktionserweiterungen auf Anhieb beherrschen, so daß Implementationsprobleme sowie Wartungs- und Problemlösungskompetenzen eine Barriere in der zwischenbetrieblichen Kooperation darstellen können. Diesem Problem begegnen die Serienhersteller u.a. mit der frühen Einbeziehung des Kundendienstes in den Prototypenbau. Hier können die neuesten technischen Entwicklungen durch die innerbetriebliche Kooperation und Kommunikation kennengelernt und das notwendige Transferwissen aufgebaut werden. (Vgl. auch Schumann u.a. 1994: 491)

Exkurs: Die Herstellung von Fakten und die interpretative Flexibilität der Technik

Wenn Mängel auftreten, beginnt teilweise ein intensiver Hersteller-Anwender-Dialog, in dem rekonstruiert werden muß, wer für die Beseitigung der Mängel verantwortlich ist und wer die Kosten trägt. Diese Aushandlungsprozesse gestalten sich z.T. sehr schwierig, da die Herstellung von Fakten vielfältigen Selektionen unterliegt. Aus der Herstellerperspektive stellt sich die Frage, inwieweit ein Mangel durch den Technikverwender erzeugt worden ist, z.B. durch Überschreiten der Leistungsgrenzen, durch Programmierfehler oder durch unvorhergesehene Ereignisse. Aus der Anwenderperspektive stellt sich die Frage nach maschinenbaulichen oder konstruktiven Mängeln. Was auch immer der Fall ist, es bedarf einer gemeinsamen *Herstellung der Fakten*.

Die Notwendigkeit der *Herstellung von Fakten* ist auf die *interpretative Flexibilität* der Technik zurückzuführen. Probleme im Verwendungskontext einer Technik können sowohl auf die Technik, die Bearbeitungsaufgabe, die organisationale Einbettung der Technik und/oder die Qualifikation der Maschinenführer bezogen werden. Hier zeigt sich insbesondere die untrennbare Verwobenheit von Technik und Organisation. Man kann die Technik nicht fragen, warum sie nicht funktioniert. Die Technik antwortet nicht. Ein technischer Mangel '*sagt*' zunächst nichts über seine Verursachung aus, er kann sowohl im Erzeugungsprozeß als auch im Verwendungszusammenhang entstanden sein. Dies ist ein Grund dafür, daß die Ursachen des Mangels sozial ausgehandelt werden müssen. Natürlich spielen hier die Definitionsmacht und auch ökonomische Macht, ebenso wie das Rechtssystem (Produkthaftungsgesetz, Verträge, etc.) eine Rolle, allerdings zunächst nur in der Form einer Konditionierung und Limitierung der Herstellung von Fakten.

2.3.2 Innovationsarbeit im Verwendungskontext von Technik[16]

Die in der Investitionsgüterindustrie erzeugten Produktinnovationen bilden die Grundla-

---

[16] Im vorhergehenden Abschnitt wurde die *Innovationsarbeit*, die die Inbetriebnehmer eines Technikherstellers während der zweiten Inbetriebnahme im Verwendungskontext leisten, schon herausgestellt. Dabei wurde die Perspektive der technikherstellenden Unternehmen eingenommen. In diesem Abschnitt konzentriert sich die Darstellung nun auf die Akteurgruppe der Arbeiter aus den technikverwendenden Unternehmen.

ge betrieblicher Rationalisierung in vielen anderen Branchen. Dort wirken sie als Prozeßinnovationen, die auf einen verbesserten Fertigungsablauf, eine neue Arbeitsorganisation oder die Herstellung neuer Produkte zielen. Mit anderen Worten: Produktinnovation beim Technikhersteller führt in der Regel zur Prozeßinnovation beim Technikverwender; von dessen Problemdefinitionen und prozeßtechnischen Anforderungen können wiederum Impulse für die Produktinnovationen des Technikherstellers kommen. Im Maschinenbau selbst läßt sich von einer tendenziellen Einheit der Erzeugung und Verwendung von Rationalisierungsmitteln ausgehen.

Produkt- und Prozeßinnovationen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer qualifikatorischen Anforderungen. Bei den Prozeßinnovationen müssen die Arbeiter den technischen Gehalt der neuen Fertigungstechnik nicht vollständig erfassen. Die Arbeitsanforderungen lassen sich durch technische Hilfen (Medien) und durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen variieren. Bei Produktinnovationen sind dagegen die qualifikatorischen Anforderungen sehr viel stärker abhängig von den spezifischen Anforderungen der Produktentwicklung. Die Inbetriebnahme einer flexiblen Fertigungszelle setzt eben anderes technisches Wissen über die einzelnen Funktionen voraus als die spätere Bedienung dieser Maschine.[17]

Im folgenden sollen die Innovationsbeiträge von Arbeitern zu Prozeßinnovationen dargestellt werden. Die Unterscheidung von Produkt- und Prozeßinnovationen folgt einer analytischen Betrachtungsweise. Empirisch ist eine solche Trennung nicht immer gegeben: wenn beispielsweise ein Facharbeiter in einem Anwenderbetrieb einen Innovationsbeitrag für eine gegebene Werkzeugmaschine leistet, ist der Bezugspunkt in diesem Betrieb die Veränderung eines gegebenen Produktionsverfahrens, wird dieser Innovationsbeitrag an den Herstellerbetrieb herangetragen und von diesem realisiert, handelt es sich für den Technikhersteller um eine Produktinnovation. Der Beitrag des Facharbeiters richtet sich aber zunächst auf einen veränderten Prozeß und nicht auf die Realisierung eines neuen Produktes. In diesem Sinne wird im folgenden von Innovationsbeiträgen der Facharbeiter bei Prozeßinnovationen gesprochen.

---

17 So stellen Schumann u.a. (1994) als eine wichtige Arbeitsanforderung für die Inbetriebnehmer des Werkzeugmaschinenbaus heraus: "*Der gesamte Bearbeitungsprozeß muß in seinen Variablen vorstrukturiert und fixiert werden. ... Gefordert ist ein Abstraktionsvermögen, welches sich zwar der gewonnenen empirischen Erfahrung mit Verfahren, Material, Werkzeugen und Maschine bedient, diese aber in einem theoretisch gefaßten Entwurf mit hoher Verbindlichkeit integrieren muß.*" (466)

Für eine immer kapitalintensivere Produktionstechnik ist eine hohe Anlagenverfügbarkeit ein wichtiges betriebswirtschaftliches Ziel. Der Minimierung von Stillstandszeiten, verursacht etwa durch Maschinenausfälle, Programmierfehler oder Werkzeugbruch, kommt eine unternehmensstrategische Dimension zu. Diese Strategien können sich aber selten auf technische Problemlösungen beschränken; vielmehr bedarf es organisationaler und qualifikatorischer Lösungen, die mit den technischen Anlagen innovativ kombiniert werden, um die anvisierte Anlagenverfügbarkeit zu gewährleisten. Seit dem Abklingen der *CIM-Euphorie*[18] gilt dies als wenig strittig. Die immer perfektere Beherrschung einer Maschine, der Programme und der Betriebsmittel durch die Arbeiter lassen interne Lerneffekte erwartbar werden; gemeint sind damit Beschleunigungseffekte in dem Sinne, daß in kürzerer Zeit eine verbesserte Qualität kostengünstiger erreicht werden kann. Um diese Ziele zu erreichen, lassen sich in den Anwenderindustrien unterschiedliche Maßnahmen beobachten. Dazu gehören neue Beteiligungsformen bei Investitionsentscheidungen, beispielsweise *bottom-up*- anstelle von *top-down*-Entscheidungen (vgl. Braczyk 1988), die Re-Organisation betrieblicher Arbeitsteilung und die Anreicherung dispositiver Funktionen auf unteren Hierarchieebenen (*lean production*), bei gleichzeitiger Verflüssigung von Organisationsgrenzen. Aus dem elastischen Potential des technisch-organisatorischen Zusammenhangs ergibt sich dabei eine erhebliche Bandbreite von Beschaffungs- und Implementationsstrategien. Um auch die damit verbundene mikropolitische Aufgeladenheit von Beschaffungsinitiativen, Implementationsprozessen und arbeitsorganisatorischen Maßnahmen in ihrem Zusammenhang zur Innovationsarbeit zumindest mitanzusprechen[19], sollen nachfolgend anhand von zwei (unterschiedlichen) Fallbeispielen die innovationsrelevanten Tätigkeiten der Arbeiter im Verwendungskontext von Technik präsentiert werden.

---

18 Damit ist die Idee der vollautomatischen und menschenleeren Fabrik gemeint, die in den achtziger Jahren infolge der rasanten Fortschritte der Informationstechnik zwar zeitweise Konjunktur hatte, die aber aufgrund der sich häufenden *CIM-Ruinen*, d.h. aufgrund der mangelnden Beherrschung potentieller Umweltirritationen durch die Automatisierungssysteme, fallengelassen wurde zugunsten eines Neu-Arrangements technischer und (arbeits-)organisatorischer Lösungen.

19 Die mikropolitische Dimension von Innovationsarbeit genau zu erfassen, ist ein wichtiges Ziel weiterer Forschungsarbeit. Da es in diesem Abschnitt zunächst um die präzise Erfassung innovationsrelevanter Arbeitstätigkeiten geht, darüber hinaus die empirischen Untersuchungen andere Forschungsziele verfolgten, ist auf eine systematische Einbeziehung von Mikropolitik verzichtet worden. (Deren Relevanz für die Innovationsarbeit soll aber im folgenden zumindest betont werden.)

Das Anwenderunternehmen VI_1, ein Unternehmen der Automobilindustrie, das unter erheblichem Kostendruck gegenüber der japanischen Automobilindustrie steht, war im untersuchten Innovationsfall an einer deutlichen Reduzierung der Fertigungskosten interessiert.[20] Die konzeptionelle Herausforderung dieses Innovationsfalles bildete die in der japanischen Automobilindustrie schon umgesetzte Technologie der "Hochgeschwindigkeitsbearbeitung". Diese gab es zum damaligen Zeitpunkt in Deutschland noch nicht. Die technologischen Parameter für ein Maschinenkonzept, das die Wirtschaftlichkeit im Formenbau deutlich erhöhen sollte, waren zu diesem Zeitpunkt unbekannt. Das Unternehmen VI_1 hat dann begonnen, ein Anforderungsprofil (ein erstes Pflichtenheft) für eine solche Technologie zu entwickeln und die weiteren Bedarfe in der Werkstatt zu eruieren. Immer wieder miteinbezogen wurden hier die Meister, Programmierer und Facharbeiter, die im Rahmen einer sogenannten *Lernwerkstatt* ihre jeweiligen Anforderungen an eine solche Technik formulieren sollten. Eine *Lernwerkstatt* wird im Unternehmen VI_1 zu verschiedenen Themen eingerichtet. Die *Lernwerkstatt* kann als ein *Innovationszirkel* beschrieben werden, der der Verbesserung innerbetrieblicher Abläufe, der Ermittlung technischer Parameter und der Weiterbildung der Mitarbeiter dient. Hier kommt es zu einer besonderen Zirkulation innovationsrelevanten Wissens der Facharbeiter. Aus der unternehmerischen Perspektive fördert dieses Verfahren die Motivation und Akzeptanz der Mitarbeiter und dient einer möglichst hohen Anlagenverfügbarkeit.

Etwa zum gleichen Zeitpunkt hatte auch Hersteller VI vom Einsatz neuer Hochgeschwindigkeits-Fräsmaschinen in Japan gehört. So existieren auch im Unternehmen VI Überlegungen zur 'Hochgeschwindigkeitsbearbeitung'.

Eine Hochgeschwindigkeits-Fräsmaschine muß verschiedene Bausteine integrieren, um die geforderten Leistungen zu erfüllen. Dazu ist es zunächst notwendig, die einzelnen Komponenten - das Programmiersystem, das Spindelsystem, die Schneidstoffe, maschinenbauliche und steuerungstechnische Aggregate - auf ihre Integrationsfähigkeit hin zu analysieren. Die technologischen Anforderungen sind dementsprechend hoch. Da alle Bausteine des zukünftigen Systems einen Innovationsschritt vollziehen

---

20 Die ausführliche Darstellung des Innovationsfalles findet sich in Asdonk, Herbold, Kowol (1995: 537ff.).

mußten, war es notwendig, mit den jeweiligen Komponentenentwicklern zusammenzuarbeiten, und einen Anwender zur Kooperation zu finden, um nicht das hohe Risiko einer *Innovationsruine* einzugehen. Hier knüpfte Unternehmen VI an vorgängige Projekte mit einem Partner aus dem Werkzeugkarosseriebau der Automobilindustrie (Unternehmen VI_1) an.

Nach den ersten Treffen zwischen Hersteller und Verwender war eine gemeinsame Idee in Form einer groben Konzeption erarbeitet worden. Für den Hersteller VI begann nun der Prozeß der Modellfindung. Fragen zielten auf die Bewegung der Werkstücke, die Auswahl von Werkzeugen sowie darauf, welche statischen, maschinenbaulichen und steuerungstechnischen Probleme abgearbeitet werden müssen und welche Steuerungen in Frage kommen. Limitiert war diese Suche nach technologischen Möglichkeiten durch die Preisvorgaben der japanischen Hersteller. Die entwicklungsrelevanten technischen Lösungen waren nun vom Technikhersteller zu erarbeiten und zwar ohne daß es einen konkreten Vertrag gab. Parallel zu der Modellerstellung war es notwendig, mit den Zulieferern intensive Gespräche über die möglichen Innovationsschritte einzelner Komponenten zu führen. Letztlich mußte eine Lösung präsentiert werden, die die auf den unterschiedlichen Ebenen neuentwickelten Komponenten integrieren konnte. Unmittelbare Kontakte zur Technischen Hochschule Darmstadt, die einen Fachkreis zum Thema 'Hochgeschwindigkeits-Fräsen' eingerichtet hatte, dienten dem Technikhersteller zur weiteren Unsicherheitsreduktion. Zwischen diesem Kreis und dem Unternehmen VI gab es immer wieder einen Erfahrungsaustausch.

Die erste Vorstellung eines Modells im Unternehmen VI_1 führte zu neuen Überlegungen und Anforderungen und zu Veränderungen des Modells und machten neue iterative Abstimmungen erforderlich. Das modifizierte Angebot wurde vom Unternehmen VI_1 wiederum geprüft und hier nochmals den Mitarbeitern vorgestellt, die ihrerseits wiederum Vorschläge machen konnten.[21] Auf seiten des Anwenders waren von Beginn

---

[21] Auch dieser Innovationsfall weist deutlich die Dynamik eines selbstorganisierenden Prozesses auf. Die Struktur hier ist aufgrund der Technologieprobleme, der Einbeziehung eines außerbetrieblichen Forschungsinstitutes und eines Normungsinstitutes komplexer als im geschilderten Innovationsfall II (vgl. Abschnitt 1 dieses Kapitels), ebenso sind die beobachteten dynamischen Abhängigkeiten andere. Vergleichbar ist die rekursive Prozeßstruktur der komplexen Abstimmungsprozesse, die zu einer *Eigenlösung* geführt haben. In diesem Zusammenhang ist noch hinzuzufügen, daß der Technikhersteller daran interessiert war, diese Maschine nicht nur einmalig zu entwickeln, sondern damit in die Kleinserienproduktion zu gehen. Die Übertragung

(Fortsetzung...)

an der Vorstand, der zentrale Einkauf, der Werksleiter, der Leiter der mechanischen Abteilung, die Programmierer und die Bediener beteiligt. Im Herstellerunternehmen waren die Abteilungen Verkauf, Elektrokonstruktion, mechanische Konstruktion und die Fertigung vertreten. Der Verkaufsleiter des Technikherstellers schildert, welche Innovationsbeiträge aus dem Unternehmen VI_1, die noch vor dem Vertragsabschluß und vor der Modellerstellung erbracht wurden, Einfluß auf die Konzeption gewannen:

> *"Das, was wir erarbeitet haben, haben wir natürlich wieder dem Kunden vorgestellt ... und das wurde dann korrigiert und wieder korrigiert und so weiter. Das Unternehmen hat folgendes gemacht: Bevor diese Maschinen bestellt wurden, sind unsere Unterlagen in den Betrieb gegangen. Jeder, der an diesem neuen schnellen Verfahren beteiligt sein sollte, durch Programmierung, durch Bedienung, durch Werkstück- und Werkzeugdisposition, wurde befragt. Der Geschäftsführer hat sehr viel Wert auf die Meinung der Mitarbeiter gelegt, was auch nicht überall ausgeprägt ist, und jeder konnte sagen: 'Das ist mir zu hoch, zu niedrig, da kann ich nichts beobachten.' Es entstanden dann auch wieder Vorschläge, wie das ganze Werkstück auszuleuchten ist und wo Scheiben rein müssen, um beobachten zu können, also das ist dann so ein Prozeß."* (VI, Verkaufsleiter: 19)

In dieses iterative Verfahren der Unsicherheitsreduktion wurden die Meister und Facharbeiter des Anwenderunternehmens auch zu Vorführungen des Technikherstellers eingeladen und nahmen selbst an Versuchen teil.

> *"Für uns war es wichtig, daß ich meine Leute zu der Herstellerfirma mitnehmen konnte. Denen hat es sehr viel gebracht. Auch die Hemmschwelle ist da überschritten worden, weil man vorher die Maschinen nur auf Zeichnungen gesehen hat und dann hat man sie auch bei dem Unternehmen VI gesehen und auch die ersten Fahrversuche machen können. Ich bin der Meinung, daß mehrere Bediener das sehen sollten, wie sowas abläuft."* (VI_1, Meister: 8)

Diese Organisation des Innovationsprozesses verweist auf einen doppelten Know-how-Transfer. Wesentlich ist dabei die Erzeugung einer gemeinsamen Lernsituation, indem Programmier- und Fertigungserfahrungen von verschiedenen Akteuren auf den speziellen Verwendungskontext hin verkoppelt werden können. Wird mit der gegenständlichen Form der Maschine konstruktives und Verfahrens-Know-how des Herstellers transferiert, so wird in der Kooperation der Service-Techniker des Herstellers und der Einrichter des Technikverwenders vorrangig das empirisch-praktische Erfahrungswissen

---

[21](...Fortsetzung)
auf andere Verwendungskontexte gelang aber nur partiell, denn die aufgefundene Lösung war zu spezifisch bzw. neue Verwendungskontexte erforderten abweichende Lösungen.

der Service-Techniker mit dem kontextspezifischen, d.h. hier produktbezogenen Wissen der Einrichter kombiniert. Der doppelte Know-how-Transfer beinhaltet eine Kombination von *learning by doing* mit *learning by using*. Denn einerseits muß die neue Technik auf die Verwendungsbedingungen hin eingerichtet und optimiert werden, andererseits werden schon *Versuche gefahren* und damit Programme, Werkzeuge und Werkstücke getestet, die dazu dienen, daß die spätere Fertigung (*using*) möglichst störungsfrei funktioniert.

Neben dem (auch) gewünschten Ergebnis einer größeren Akzeptanz und Motivation für diese Technologie hat gerade die praktische Erprobung für die Facharbeiter einen besonderen Stellenwert. Die Angst, Fehler zu machen, die Verantwortung für die Technik, bildet zunächst eine Schwelle, die überwunden werden muß, um dann eingreifen zu können, wenn es unvorhergesehene Probleme gibt. Weiterhin bildet für die Facharbeiter die unmittelbare Anschauung noch die beste Grundlage, um qualifizierte innovationsrelevante Vorschläge zu entwickeln. Sinnliche Erfahrung im Arbeitsprozeß gewinnt hier eine besondere Akzentuierung:

> "*Wenn man es vorher nicht sehen kann, dann kann man es sich gar nicht richtig vorstellen, daß das so läuft.*" (VI_1, Facharbeiter: 8)

Innerhalb der vielfältigen Aushandlungsprozesse zwischen Technikhersteller, -verwender, den Zulieferanten und der Technischen Hochschule Darmstadt entstanden eine Vielzahl weiterer Innovationsbeiträge, die sich auf die Steuerung, die Handhabung, den Automatisierungsgrad und die Werkstoffe bezogen. Diese Innovationsbeiträge lassen sich aber nur ungenügend als Additionen der vom Technikhersteller miteinbezogenen Akteure (Zulieferanten, Facharbeiter, Forscher) verstehen; vielmehr führten diese Innovationsbeiträge zu Synergien, die als Folge intensiver Abstimmungsprozesse heterogener Akteure innerhalb eines sich konstituierenden Netzwerkes entschlüsselt werden können und die alle Merkmale eines selbstorganisierenden Prozesses aufweisen.

Es wurde schon darauf verwiesen, daß Unternehmen VI_1 die Festlegung technischer Parameter unter unmittelbarer Beteiligung der Meister und Facharbeiter betrieb. Hier wurde durch die Beteiligung der Werkstatt des Anwenders innovationsrelevantes Wissen über Bearbeitungsanforderungen, Kontrollmöglichkeiten der Maschinensteuerungen und ergonomische Gestaltungsanforderungen noch in der Konstruktions- und

Fertigungsphase in den Entwicklungsphase der neuen Technik eingespeist. Doch inwieweit spielt das unmittelbare Erfahrungswissen der Facharbeiter bei und nach der Implementation noch ein Rolle? Zielt der angestrebte mannarme Anlagenbetrieb durch weitgehende Automatisierung auf den Ersatz des Facharbeiterwissens? Welche Funktionen bleiben für die an der Anlage tätigen Facharbeiter übrig? Lassen sich weitere innovationsrelevante Beiträge identifizieren?

Die ursprüngliche Projektierung war darauf ausgelegt, daß der Fräsprozeß in einem geschlossenen Raum stattfinden sollte und der Maschinenführer aus Sicherheitsgründen nicht in diesen Raum hinein konnte. Damit verbunden war auch das Rationalisierungsziel einer mannlosen dritten Schicht. Während der ersten *experimentellen Implementation* im Verwendungskontext stellte sich aber heraus, daß zu einem optimalen Fräsen immer wieder Eingriffe der Facharbeiter notwendig sind. Die Handhabung des Systems mußte daraufhin verändert werden. Im ursprünglichen Konzept der vollautomatischen Bearbeitung sollten die Programme aus der Arbeitsvorbereitung eingelesen und vom Facharbeiter nur noch Werkstücke ein- und ausgelegt werden. Es hat sich dann gezeigt, daß Optimierungsbeiträge der Maschinenführer zum Umgang mit unvorhersehbaren Ereignissen berücksichtigt werden müssen. Allerdings galt es dabei, die Sicherheitsvorschriften der Berufsgenossenschaften zu beachten, so daß auch diese einbezogen werden mußten. Die neue Lösung war ein Ergebnis gemeinsamer Überlegungen von Hersteller, Verwender und den Berufsgenossenschaften:

> "*Das Verfahren ist jetzt eigentlich in zwei Dinge aufzuteilen: Nach wie vor gibt es Bauteile, die mannlos automatisch gefertigt werden können, darüber hinaus soll das Verfahren aber auch für Dinge eingesetzt werden, die automatisch nicht optimal herzustellen sind, sondern wo der Facharbeiter eingreifen muß, z.B. um Übergänge zwischen Teilflächen genau anzugleichen. Dann hat es über diesen Punkt sehr intensive Gespräche mit den Berufsgenossenschaften gegeben und das Ergebnis davon ist, daß eine Sonderbetriebsart genehmigt worden ist. Diese Sonderbetriebsart sieht so aus, daß mit gedrückter Zustimmtaste und Handsteuergerät der Facharbeiter in den gekapselten Arbeitsraum hineingehen und eben diese Angleichung optimieren kann.*" (VI, Technischer Verkäufer: 14)

Die ursprünglich vorgesehene organisationale Lösung einer mannlosen Schicht wurde aufgegeben und eine mannarme Schicht vorgesehen. Damit ist eine Ausweitung der Produktionszeiten gegenüber den Arbeitszeiten verbunden, es kommt zu einer "*Entkopplung von Produktions- und Arbeitsprozeß*" (Springer 1987).

Die Beschäftigungseffekte sind dementsprechend eher negativ. Für die an der

Anlage tätigen Facharbeiter werden die Anforderungen deutlich steigen, sie werden neben kontrollierenden und optimierenden Tätigkeiten sowohl Aufgaben der vorbeugenden Instandhaltung, des Erkennens und Mitteilens von Fehlern und der Störfallregulation beherrschen müssen.

> *"Man muß auf alle Fälle die Steuerung beherrschen, dann muß man sich selbstständig in das System einfinden. Ich sehe das so: Jede Steuerung hat irgendeine Denkweise, wenn man einmal heraus hat, wie die Steuerung funktioniert oder wie die eigentlich denkt, dann tut man sich leichter, wenn man mal ein Problem vor sich hat, was noch nicht da war. Das wichtigste ist fast noch, wie man an der Maschine und an der Steuerung praktisch lernt."* (VI_1, Facharbeiter: 6)

Mit den Implementationserfahrungen veränderten sich die Arbeitsanforderungen und damit die organisationale Einbettung. Die Arbeitstätigkeit nach den Implementationserfahrungen sah vor, daß die Einrichter die Maschine vorrüsten, die Werkzeuge bereitstellen und die NC-Programme selbst in der von ihnen gewählten Fertigungsreihenfolge bereitstellen. Weiterhin waren nun Eingriffsmöglichkeiten in den Ablauf des Fertigungsprozesses und während der mannarmen Schicht vorgesehen. Die damit erwarteten Qualifikationsvoraussetzungen werden vom Projektleiter, Meister und Facharbeiter als "*stark steigend*" bewertet:

> *"Die Qualifikation oder Anforderung an den Maschinenbediener steigt enorm, vor allen Dingen auch weil ja jede Menge Ausfallstrategien automatisch ablaufen und der Maschinenbediener das ja alles überblicken muß. Er muß also wissen, was das Palettensystem macht, was die Maschine macht, er muß die Zusammenhänge zwischen beiden kennen, nicht nur die Maschine fahren, sondern das Ganze vorbereiten, abarbeiten und im Störfall eingreifen. Er muß sehr vorausschauend agieren, was ja bisher einem Maschinenbediener in dem Umfang nicht abverlangt wurde."* (VI_1, Maschinenbauingenieur: 6)

Ein wichtiger Hintergrund der vorgenommenen Neubewertung von Arbeit, die hier zum Ausdruck kommt, liegt in den relativ geringen Lohnkosten gegenüber den Kosten, die die Stillstandzeiten solcher Maschinen verursachen. Die Lohndifferenz zwischen einem angelernten oder sehr gut ausgebildeten Arbeiter ist gemessen an diesen Kosten so unerheblich, daß es effizient ist, für diese Tätigkeiten hochqualifizierte Facharbeiter auszuwählen:

> *"Die Tendenz zu höheren Anforderungen ist klar, denn die Kosten für dieses Produkt, für die Fertigungsanlage sind immer gleich, ob da jetzt ein Maschinenbediener beisteht, der jetzt fünf Mark mehr oder weniger verdient, das ist kein entscheidender Faktor. Aber nicht nur die Still-*

standzeiten, auch die optimale Ausnutzung der Maschinenleistung spielt dabei eine große Rolle." (VI_1, Maschinenbauingenieur: 7)

Auch an dieser hochautomatisierten Anlage spielt der Aufbau von Erfahrungswissen weiterhin eine Rolle. Zwar gibt es eine Reihe automatisierter Ausfallstrategien und Meßvorrichtungen, die auf Probleme hinweisen und diese automatisch abarbeiten, doch bleiben Arbeitsabläufe, unvorhergesehene Ereignisse und Kontingenzen bestehen, die zu bewältigen voraussetzt, daß Erfahrungen aufgebaut werden können:

"*Ja, man muß eben das Verhalten der Maschine bei verschiedenen Fräseinsätzen kennen, z.B. haben wir das Problem dort, wenn die z- Achse zu weit rauskommt, treten Schwingungen auf, dann muß man entsprechende Vorschübe und Drehzahlen verändern, das muß man bei jeder Maschine zuerst rausfinden, wieweit es jetzt geht, anschauen, das Fräsbild anschauen. Wenn sowas auftritt, versuchen wir es zu analysieren. ... Das hört man schon, wenn irgendetwas nicht stimmt. Das merkt man schon, ob der Fräser richtig schneidet oder ob da zuviel Druck drauf ist oder ob da Schwingungen auftreten, das merkt man sowieso gleich.*" (VI_1, Facharbeiter: 10)

Die mit der aktiven Beteiligung der Facharbeiter gewonnenen Erkenntnisse über die Bedienbarkeit der Steuerung, das Maschinenumfeld und ergonomische Anforderungen führten zur weiteren Festlegung technischer Parameter. Die Facharbeiter wurden hier zu *Mit-Agenten* im Rationalisierungsprozeß, einerseits mit dem Vorteil, ihre Wünsche und Anforderungen einbringen zu können, also mitgestalten zu können, andererseits aber auch mit der Verantwortung für eventuelle arbeitsprozeßbezogene und beschäftigungspolitische Nachteile.

"*Es sind z.B. die Steuerungen, die uns gefallen haben, die wir vorgeschlagen haben, genommen worden. Ich muß sagen, alle Sachen können da nicht verwirklicht werden, weil an der Maschine einfach andere Strategien sind, aber es sind schon einige Punkte übernommen worden.*" (VI_1, Facharbeiter: 5)

Dementsprechend waren Meinungsverschiedenheiten und Differenzen über technische, organisatorische und leistungspolitische Fragen abzuarbeiten:

"*Es sind mit Sicherheit Differenzen dagewesen über die Genauigkeit der Maschine und die Aufgaben der Maschine. Als nächstes natürlich Qualifikationen und Entlohnung der Mitarbeiter. Von der Entlohnung her müßten sich unsere Herren mit Sicherheit noch was überlegen, da bin ich der Meinung, das ist unter dem Niveau angesiedelt.*" (VI_1, Meister: 6)

Daß die mit der Automatisierung verbundenen technisch-organisatorischen und qualifi-

katorischen Fragen verstärkt einer Zweck-Mittel-Relationierung unterliegen, kann auch auf die mit der Informationstechnik gewachsene Flexibilität der Artefakte zurückgeführt werden. Wachsende Gestaltungsspielräume bei der technisch-organisationalen Implementation sind die Folge. Das nächste Beispiel rekonstruiert die Implementation einer Fertigungsinsel in ihrem mikropolitischen Zusammenhang mit der Innovationsarbeit.[22]

Im Vordergrund der Investitionsziele des Anwenders III_1 stand ebenfalls die zeitökonomische Automatisierung des Fertigungsprozesses. Das technisch-organisatorische Mittel war die Implementation einer Fertigungsinsel. Besonders eindrucksvoll bringt der Betriebsleiter des Unternehmens III_1 seine damit verbundene Automatisierungsphilosophie auf den Punkt:

> "*Die Aufgabenstellung für Anbieter von Maschinen und Fertigungssystemen muß so lauten: Komplettbearbeitung, Prozeßsicherheit, mannlose Fertigung, hohe Systemverfügbarkeit, umfassende Automation, hohe Flexibilität, minimaler Rüstaufwand. Wenn einer meint, es wäre nicht alles gesagt, kann er da was hinten dranhängen.*" (III_1, Betriebsleiter: 21)

Die mit der Automatisierung verbundenen technisch-organisatorischen und qualifikatorischen Fragen wurden zunächst ungenügend berücksichtigt. So zeigte sich im Implementationsfall III_1 ein stark inkrementalistisches Muster der technisch-organisatorischen Einrichtung der Fertigungsinsel. Zu den organisationalen und qualifikatorischen Problemen des neuen Fertigungskonzepts gab es verschiedene Überlegungen auf den Leitungsebenen (Betriebsleitung, AV, Fertigungs- und Werkstattleitung). Der Betriebsrat war aufgrund seiner innerbetrieblichen Schwäche (nur wenige Beschäftigte sind organisiert) gar nicht beteiligt und hatte auch keine eigenen Vorstellungen entwickelt. Die Unsicherheiten über das zukünftige Qualifikationsprofil drückten sich deutlich in den verwendeten Begriffen *Systembetreuer*, *Systembediener* und *Systemführer* aus. Mit den Begriffen des '*Betreuens*', '*Bedienens*' oder '*Führens*' korrespondiert der Grad arbeitsprozeßbezogener Autonomie, die den Arbeitern von unterschiedlichen Akteuren

---

22 Zurückgegriffen wird hier auf den Implementationsfall einer Fertigungsinsel im Unternehmen III_1; zur Gesamtdarstellung des Falls vgl. Asdonk, Herbold, Kowol (1995: 279ff). Zu beachten ist, daß die Interviews mit den betrieblichen Akteuren zu verschiedenen Zeitpunkten geführt wurden. Zu Beginn der Implementationsphase wurde das Gespräch mit dem Betriebsleiter, zwei Monate später die Gespräche mit dem Programmierer, dem Assistenten der Fertigungsleitung und einem Systemführer, weitere zehn Monate später das Gespräch mit dem Fertigungsleiter geführt.

zugestanden wurde. Sowohl der Betriebsleiter des Unternehmens wie der Programmierer aus der Arbeitsvorbereitung vertraten eine zentralistische Philosophie. Die Programme sollten zentral erstellt und dann von dem Maschineneinrichter nur eingelesen und kontrolliert werden. Während bei den bisherigen Arbeitsprozessen die Einrichter für das Einlesen, Optimieren und Korrigieren der Programme zuständig waren, sollten diesen Vorstellungen nach die Maschinen und Fertigungssysteme so mit Werkzeugen bzw. Schwesterwerkzeugen bestückt und die Materialbevorratung entsprechend der jeweiligen Stückzeit so ausgelegt werden, daß eine mannlose Laufzeit verwirklicht werden könne. Auch aus der Perspektive des Betriebsleiters sollte die Maschine lediglich versorgt und beobachtet werden. Die Einschätzungen des Fertigungsleiters, seines Assistenten und des Systemführers unterschieden sich deutlich von denen des Betriebsleiters und Programmierers. Sie sahen mit dieser neuen Fertigungskonzeption auch neue Anforderungen und Belastungen für das organisationale Umfeld, die Produktqualität und die Optimierung der Prozesse verbunden:

> "*Die Anforderungen an die Mitarbeiter durch dieses System steigen sicherlich stark. Er soll vorausschauend planen. Diese Anforderung wurde früher an den Maschinenbediener überhaupt nicht gestellt, das mußte der Einrichter übernehmen. Er soll frühzeitig merken, wenn irgendwelche Störungen im Bereich auftauchen. Der Systemführer soll auch einfache Maschinenwartungen und Maschinenreparaturen durchführen und erkennen, wann eine Maschinenstörung da ist.*" (III_1, Fertigungsleiter: 1)

Die hier genannten Anforderungen über vorausschauende Planung, Diagnostik, Maschinenwartung und -reparatur entsprachen zunächst nicht den qualifikatorischen Voraussetzungen der Mitarbeiter, die Betriebsleiter und Programmierer antizipierten. Sie setzten allein auf eine möglichst weitgehende Automatisierung. Demgegenüber vertraten der Systemführer und der Assistent der Fertigungsleitung die Überlegung, mit der Einführung dieser Fertigungsinsel, den Grad der Arbeitsteilung zurückzunehmen:

> "*Der entscheidende Unterschied ist für mich, daß man von dem stark arbeitsteiligen Prinzip wegkommt, eine Maschine also nur noch bedient wird.*" (III_1, Assistent-Fertigungsleitung: 2f.)

Dieses Anliegen betont gegenüber den rein zeitökonomischen Überlegungen die Perspektive einer arbeitsorientierten Implementation der Fertigungsinsel. Automatisierung soll nach dieser Vorstellung kompatibel sein mit der Aufhebung tayloristischer Arbeits-

organisation und einer Requalifizierung von Arbeit durch die Zusammenführung von Prozeßkontrolle, -steuerung und Innovationsarbeit. Die Differenz zum Betriebsleiter und Programmierer ergibt sich auch aus den empirisch-praktischen Anforderungen in der Werkstatt, aus dem Umgang mit unvorhergesehenen Ereignissen, Störfällen und aus einer abweichenden Bewertung des Erfahrungswissens der Systemführer. Hier werden die Flexibilitätsanforderungen der Werkstatt deutlich höher bewertet als die rein zeitökonomischen Überlegungen des Betriebsleiters:

> "*Daß der Systembetreuer programmiert, ist von unserer Betriebsleitung eigentlich nicht gewünscht, ich dagegen denke, daß er zumindest in der Lage sein müßte, so ein Programm zu verstehen und in dem Moment, wenn gar nichts mehr geht, zu handeln, aber ich unterscheide mich da etwas von der Meinung des Betriebsleiters. Die Nachteile liegen einfach darin, daß man nicht am Schreibtisch entscheiden kann, was mit einer Maschine passiert, die hundert Meter weiter weg steht. Es gibt an jeder Maschine immer wieder individuelle Probleme, durch den Werkstoff, durch die verwendeten Werkzeuge. Man setzt Werkzeuge ein, die zu kurz sind, und hat dann keine Probleme, aber setzt man Werkzeuge ein, die zu lang sind, kann man die Kollisionskontrolle bei unserem derzeitigen Technikstand nur an der Maschine vornehmen.*" (III_1, Assistent-Fertigungsleitung: 5)

Für den hier interessierenden Zusammenhang zwischen Technikentwicklung und Innovationsarbeit ist besonders auffällig, daß keiner der Akteure im Sinne technischer Sachzwänge argumentiert, sondern die Argumente ihren Bezugspunkt in der Organisation haben. Während die Vorstellungen des Betriebsleiters und des Programmierers über eher zentralisierte Entscheidungswege und -abläufe mikropolitisch auch als Managementkontrolle über Arbeit decodiert werden können, ordneten sich die Vorstellungen des Systemführers und des Assistenten der Fertigungsleitung einer dezentralen Entscheidungsautonomie mit höheren Dispositionsspielräumen in der Arbeit zu. Der Assistent der Fertigungsleitung begründete diese Position u.a. auch mit der Anforderung an die organisationale Systembewältigung und das Erfahrungswissen.

> "*Und es gehört eine gehörige Portion Organisationstalent dazu und auch so ein Erfassen von Zusammenhängen, also ein gutes Maß an einem geschulten Auge und Erfahrung, um drei Maschinen gleichzeitig zu betreuen.*" (III_1, Assistent-Fertigungsleitung: 4)

Entgegen den Planungen griffen die Systemführer bei unvorgesehenen Ereignissen aber in die Programme ein und veränderten dort vorgegebene Parameter, was zunächst vom Programmierer nur als Protestaktion gesehen wurde.

> *"Die Leute werden etwas übermütig, wenn es gut läuft, fangen an, herumzuspielen und sagen: 'Ich mache das nicht so, sondern anders herum. Ein Systemführer hat ein Programm, was wir geschrieben haben, in die Ecke geworfen und hat es neu geschrieben. Es war eine Protestaktion."* (III_1, Programmierer: 11)

Obwohl die Programmeingriffe der Systemführer weder vom Betriebsleiter noch vom Programmierer vorgesehen waren, blieben sie doch - auch Monate nach Einführung der Fertigungsinsel - notwendige Reaktionen auf programmtechnische Fehlermeldungen, Dysfunktionen und auch auf die aus dem Zusammenwirken von Elektronik, Werkzeugen und den Materialeigenschaften der Werkstoffe resultierenden Störquellen:

> *"Die Elektronik war störanfällig, es gab immer wieder Meldefehler an den Kontakten; Werkzeuge, die im Vorfeld bestellt wurden, waren nicht unbedingt der Aufgabenstellung entsprechend; es gab Standzeitprobleme bei einem Bearbeitungsverfahren. Weitere Probleme waren die Anpassung der Stangenlader an die Maschine: Die Stangen schoben nicht durch oder drückten die Spannzangen mit heraus, ganze Halterungen wurden abgerissen. Auch das Programm, das von Hersteller III mitgeliefert wurde, entsprach nicht den Anforderungen. Das hört sich jetzt gar nicht so viel an, wenn man das aufzählt, aber wenn man an der Maschine steht und die laufen soll, dauert jede kleine Störung manchmal drei bis vier Stunden bis daß man überhaupt die Ursache gefunden hat. Und dann weiß man immer noch nicht, wie man es lösen soll. Da gehen manchmal Tage ins Land mit solchen Sachen."* (III_1, Assistent-Fertigungsleitung: 6f.)

Aufgrund der aus den Stillstandszeiten der Anlagen resultierenden hohen Ausfallkosten - gerade die hohen Investitionskosten erzwingen eine kontinuierliche Anlagennutzung -, ergab sich eine erhebliche Aufwertung der Arbeitsanforderungen. Die Systemführer waren in einem sehr viel höheren Maße als vorgesehen verantwortlich für die Gewährleistung der Produktion. Die produkt- und prozeßbezogene Verantwortung war deutlich gestiegen. Dieser Fall verdeutlicht die organisationale Elastizität der Technikimplementation, aber auch die Interessensgebundenheit der arbeitsorganisatorischen Lösungen, die die Voraussetzungen der Innovationsarbeit darstellen.

2.4 Zusammenfassung

Die Innovationsbeiträge der Arbeiter sind nicht in allen Unternehmen und Abteilungen von gleicher Intensität; sie differieren abteilungsspezifisch (Fertigung, Montage, Inbetriebnahme), produkt- und prozeßbezogen (Neuigkeitsgrad, Qualifikationsanforderung) und verwendungsspezifisch (Sondermaschine, Serienmaschine). Für die Innovations-

beiträge der Arbeiter aus den technikherstellenden Unternehmen gilt: Die Teilefertigung besitzt im allgemeinen eine vergleichsweise geringe Relevanz für die Produktentwicklung, wenngleich auch hier wichtige Anregungen für Produkt- und Prozeßinnovationen beobachtet worden sind und die Zusammenarbeit mit den Facharbeitern aus der Endmontage innovationsrelevant ist. In der Endmontage erweist sich erstmalig, inwieweit die zweidimensionale Abbildung, d.h. die Zeichnungen aus dem Konstruktionsbüro, den tatsächlichen räumlichen Gegebenheiten an der Maschine gerecht werden. Hier zeigt sich, ob es sich bei den Zeichnungen um *Gemälde* handelt oder um brauchbare Anleitungen für Fertigung und Montage. Bei der Inbetriebnahme stellt sich dann heraus, inwieweit die Funktions- und Leistungsfähigkeit gegeben ist, und letztlich muß sich im Verwendungskontext der Technik erweisen, ob mit der neuen Technik stabile Prozesse erreicht werden können.

Während die mechanische Fertigung zunehmend gezwungen ist, sehr komplexe Werkstücke zu fertigen, liegt bei der Montage dann eine besondere Anforderung vor, wenn neue Maschinen produziert werden (was bei einem Betrieb des Sondermaschinenbaus der Regelfall ist). Gerade bei der erstmaligen Montage treten die Schwachstellen einer Konstruktion deutlich hervor. Hier werden die Artikulationsfähigkeit und das Problemverständnis der Facharbeiter zu einer nicht hintergehbaren Voraussetzung für den konstruktiven Erfolg einer Innovation. Wird eine Maschine erstmalig gebaut, sind die Anforderungen an das Wissen der Facharbeiter besonders vielfältig; dem Neuigkeitsgrad des Produkts entsprechend sind die Lernchancen für Verbesserungen und Optimierungen von Konstruktion, Fertigung, Montage und Inbetriebnahme besonders groß. Bezogen auf das gleiche Produkt sinken die innovativen Beiträge nach häufigerem Zusammenbau einer Maschine; das bedeutet auch, daß die Herstellungskosten sinken und der technisch-organisatorische Reifegrad innerhalb eines Produktlebenszyklusses steigt.

Die innovationsrelevanten Beiträge der Arbeiter bei Prozeßinnovationen bestehen insbesondere im Umgang mit unvorgesehenen Ereignissen, in denen optimiert, improvisiert und zum Teil *experimentell* agiert werden muß. Welches Ereignis wann eintritt, ist wenig vorhersagbar; wichtig ist es aber, in diesen unvorhersehbaren Situationen möglichst schnell und kompetent eingreifen zu können, um so kostenintensive Stillstandszeiten zu vermeiden. Andere Innovationsbeiträge beziehen sich auf das Einfahren der Anlage, das Optimieren von Programmen und das Kontrollieren der Prozesse.

Mit dem weiteren Vordringen verketteter Fertigungssysteme entsteht in den Bereichen traditioneller Serienfertigung ein neues arbeitsorganisatorisches und technisches Flexibilitätspotential. Es ändern sich nicht nur die Arbeitsanforderungen, auch die Bedeutung der Innovationsarbeit wird weiter wachsen: Verfahrenstechnische Eingriffe bei unvorhergesehenen Ereignissen werden zu relevanten betriebswirtschaftlichen Variablen. Kleinere Losgrößen, häufig wechselnde Produkte mit der Folge zunehmender Programmier- und Optimierungsarbeit und gestiegene Qualitätsanforderungen sind weitere Aspekte, die die steigenden innovativen Anforderungen an Arbeiter begründen.

Typologisierend lassen sich folgende Innovationsbeiträge der Arbeiten differenzieren: Bezogen auf die Produktentwicklung kann von Innovationsarbeit gesprochen werden, wenn innovative Beiträge aus den Werkstattbereichen zu Veränderungen von Entwurf, Fertigung und Montage von Modellen, Mustern, Prototypen, Unikaten und Nullserien erbracht werden. Innovationsarbeit in diesem Sinne meint:

- Auswahl, Realisierung und Testen technischer Parameter in einer Entwurfsphase durch die Mitarbeit bei der Planung und Entwurfsarbeit, das Konstruieren am Objekt und das Fertigen und Testen von Entwürfen und Teilkomponenten;
- Beiträge im Prototypenbau und bei der Erstellung einer Nullserie[23] durch die fertigungstechnische Umsetzung und das Verändern technischer Parameter, die montagetechnische Umsetzung und 'nachholende Konstruktion' und die Mitarbeit bei der Festlegung von Qualitäts- und Kostenmargen;
- Innovationsrelevante Beiträge während einer Inbetriebnahme durch die Optimierung technischer Parameter und Funktionen, das Aufzeigen von Defiziten und den Ausgleich konstruktiver und funktionaler Mängel;
- Innovationsarbeit während einer *experimentellen Implementation* durch kontextsensitive Anpassungen, Optimieren und Gewährleisten und Technologietransfer.

Von prozeßbezogener Innovationsarbeit im Verwendungskontext einer Technik kann gesprochen werden, wenn Optimierung, Störfallbehebung, Qualitätssicherung und experi-

---

23 Hier ist eine besondere Verwobenheit von Produkt- und Prozeßinnovation zu konstatieren: eine beabsichtigte Produktinnovation muß sich beim Übergang von der Nullserie zur Serie als montagegerecht erweisen, d.h. bei auftretenden Problemen in dieser Umsetzungsphase sind grundsätzlich zwei Lösungsstrategien möglich, die Veränderung des zu innovierenden Produktes (Verändern technischer Parameter), oder die Veränderung gegebener Verfahren in Fertigung und Montage zur Realisierung der beabsichtigten Innovation.

mentelles Arbeitshandeln zu Weiterentwicklungen, Modifikationen und Detailveränderungen gegebener Verfahren und Prozesse führen (können).

Dies führt zu einer Präzisierung der theoretischen Annahmen: Die Vielfältigkeit und Relevanz der Innovationsbeiträge der Arbeiter während der internen und externen Rekursionsprozesse sinken mit dem technischen Reifegrad einer Innovation.[24] Mit dem Übergang in die Kleinserienproduktion bzw. Serienproduktion werden die produktbezogenen Innovationsbeiträge aus der Fertigung und Montage weniger. Ein bislang noch nicht genügend verstandenes ökonomisches Problem kann nun besser erklärt werden: Die Innovationsökonomie hat gezeigt, daß die Produktion einzelner Güter im zeitlichen Verlauf erheblich kostengünstiger wird.[25] Schon Arrow (1962) führte dies auf "*increasing skills in production*"-Effekte zurück und nannte diese *learning by doing*. Rosenberg (1982) fügte hinzu, daß ähnliche Effekte auch von den Nutzern eines neuen Produkts ausgehen, die im Gebrauch zur Geltung kommen. (*learning by using*)

Bei der Herstellung neuer Produkte ist immer mit Unvorhersehbarkeiten zu rechnen, die häufig auch höhere Kosten implizieren; Lernen in der Startphase der Entwicklung neuer Güter verteuert diese zunächst; mit zunehmenden Lernerfolgen und der Überführung dieses Wissens in Routinewissen werden dann Kostensenkungen möglich. Das innovative Lernen wirft eine neue Perspektive auf die Innovationsprozesse; es läßt sich auch als Innovationsarbeit bezeichnen und tritt in vielfacher Gestalt auf. Die unterschiedlichen Modi von *learning by doing* und *learning by using* blieben allerdings bislang ungeklärt. Diese - so kann jetzt konkretisiert werden - beziehen sich auf:

- das Aufdecken von Fertigungs- und Montageproblemen durch die Arbeiter aus den Werkstattabteilungen, in der Entwurfs-, Fertigungs- und Montagephase, während der Inbetriebnahme und der Implementation;
- die durch Wiederholung zu erzielenden zeitökonomischen Effekte bei der (Serien-) Fertigung und der Montage neuer Produkte;
- die durch Tests, Simulationen und *experimentelle Implementationen* erzielten

---

24 Hierin kann auch eine wesentliche Entlastungsfunktion für die Serienproduktion gesehen werden, denn dauernde Unterbrechungen der Fließfertigung durch problemorientierte Kommunikation zwischen Konstruktion und Montage würden einen Kostendruck erzeugen, der den Vorteil von *economies of scale* konterkarrieren würde.

25 Zuerst schon Wright (1936).

Informationsgewinne und Optimierungen von Technik;
- die Mitarbeit bei der Festlegung von Qualitäts- und Kostenmargen;
- den Transfer technologie- und wettbewerbsrelevanter Informationen;
- das *experimentelle* Arbeitshandeln und
- auf die durch Störfallbehebung, Prozeßoptimierung und Qualitätssicherung erzielten Informationen in den Verwendungskontexten von Technik.

3. Innovationsnetzwerke

Wie schon herausgestellt, kommt dem Werkzeugmaschinenbau eine strategische Stellung für die industrielle Innovationsdynamik zu. Er schafft als *Innovationsmotor* mit seinen Universal-, Programm- und Sondermaschinen die technische Grundlage für Produkt- und Prozeßinnovationen vieler industrieller Branchen. Anders als die amerikanische oder japanische zeichnet sich die deutsche Werkzeugmaschinenbauindustrie durch starken Kundenbezug und maßgeschneiderte Lösungen für spezielle Verwendungszwecke aus. (Vgl. Kapitel III) Zugleich operieren die Serienmaschinenhersteller auf globalen Märkten und sind dort einem starken Preiswettbewerb ausgesetzt, der durch die aktuelle Dollarschwäche noch verschärft wird.

Viele Technikhersteller befinden sich im Schnittpunkt eines vielfältigen Beziehungsgeflechts von eigenen Zulieferern, außeruniversitären Forschungsinstituten, Hochschulen, institutionellen Arrangements (z.B. im Programm Fertigungstechnik des BMFT) und Technikverwendern. (Vgl. Asdonk, Bredeweg, Kowol 1994)

Im letzten Teil der empirischen Analyse geht es nun um die strukturellen Aspekte der Beziehungen zwischen Herstellern und Technikverwendern[1], die zunächst vorläufig als *Innovationsnetzwerke* bezeichnet wurden. Dem Konzept liegt die Annahme zugrunde, daß Marktintransparenz und technologische Unsicherheiten zwischenbetrieblich organisierte Innovationsprozesse wahrscheinlich werden lassen. Damit wird unterstellt, daß Innovation kein ausschließlich innerorganisationaler Vorgang, sondern mit Verweis

---

[1] Zur Bedeutung der außerbetrieblichen Forschungsinstitute und der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) als Akteure in Innovationsnetzwerken vgl. den im Rahmen einer empirischen Analyse erstellten Lehrforschungsbericht an der Bielefelder Fakultät für Soziologie (Asdonk, Kowol 1994).

auf die Beziehungen zwischen Herstellern, Verwendern und Kontextbildnern[2] ein Prozeß innerhalb organisationaler und institutioneller Felder ist.

Ein enges Interaktionsgeflecht zwischen Herstellern und Anwendern ist zunächst wenig überraschend, wenn es um maßgeschneiderte Lösungen geht, also um die kontextsensitiven Sondermaschinen. Diese werden sogar zum Teil beim Technikverwender - nach seinen Vorgaben - entwickelt, aufgebaut und modifiziert. Das verlangt eine genaue Kenntnis des Verwendungskontextes, ein hohes technologisches Know-how und eine Innovationsorganisation, die die notwendigen Interorganisationsbeziehungen flexibel gestalten kann. Wie aber entstehen vertrauensbasierte Hersteller-Anwender-Beziehungen? Wie wird Reziprozität sozial erwartbar? Welche Strukturen sind notwendig, um technische Parameter auszutauschen, um gemeinsame Lern- und Gestaltungsprozesse von Technik zu ermöglichen? Und wie stabil oder *störungsanfällig* sind solche Beziehungen? Welche Folgen hat es, wenn ein Partner die Basis wechselseitiger Interessen verläßt, z.B. durch einen Wechsel im Innovationsstil?

Anders stellt sich die Situation für die auf den Volumenmärkten operierenden Serienfertiger dar. Serienmaschinen sollen - wie Autos oder Kühlschränke - von Beginn an funktionsfähig sein und stabile Prozesse garantieren. Teilweise werden diese nach Prospekt geordert. Die bei Sondermaschinen üblichen und tolerierten *Kinderkrankheiten* werden hier selten akzeptiert. Die Hersteller von Serienmaschinen sind allgemein mit dem Problem konfrontiert, genaue Informationen über die Marktentwicklung und die Anwenderanforderungen, insbesondere über die zu innovierenden (Fertigungs-)Prozesse zu gewinnen und sie zu verallgemeinern, um die Entwicklungsaktivitäten adäquat planen und steuern zu können. Die Entwicklung komplexer Technik, die Verkürzung der Produktlebenszyklen und die Globalisierung der Märkte verschärfen das Informationsproblem der betrieblichen Entscheidungsträger. Folglich stellen sich für einen Serienfertiger andere Anforderungen an die Innovationsaktivitäten. Deshalb interessiert hier:

- Wie gewinnen die auf anonymen Märkten operierenden Serienfertiger ihre technischen Parameter?
- Wie lösen sie das Problem intransparenter Märkte?
- Wie erreichen sie die technischen Verfügbarkeiten (stabile Prozesse) einer Maschine vor der Markteinführung?

---

2 Darunter werden hier Branchenvereinigungen, außerbetriebliche und universitäre Forschungsinstitute, Normungsausschüsse usw. gefaßt.

Wie zu zeigen sein wird, sind es auch hier wiederum strukturbildende Beziehungen - die im Bereich der Serienfertigung aber nicht zu allen Verwendern aufgenommen werden können und deshalb nur mit ausgewählten Pilotanwendern eingegangen werden - die die Reduktion technologischer Unsicherheit und Marktintransparenz gewährleisten sollen.

Im folgenden werden einige wichtige empirische Ergebnisse zur zwischenbetrieblichen Organisation der Innovationsprozesse vorgestellt. Die Darstellung folgt wiederum der idealtypischen Gegenüberstellung von Sondermaschinen und Kleinserien auf der einen, Serienmaschinen auf der anderen Seite.

Es werden im folgenden zwei exemplarische Fälle präsentiert, die die Bedeutung der zwischenbetrieblichen Innovationsorganisation herausstellen.[3] Im Vordergrund der empirischen Analyse stehen Fragen nach dem Verhältnis von Vertrag und Vertrauen, der Bedeutung zwischenbetrieblich organisierter Lernprozesse, nach wechselseitigen Interessen und Akteurbeziehungen. Weiterhin soll dem Problem der Rückbindung von Netzwerkentscheidungen an die jeweilige Organisation Aufmerksamkeit gewidmet werden. Um nicht ein allzu glattes Bild zu zeichnen, wird auch ein Fallbeispiel präsentiert, das zu erheblichen Irritationen in der zwischenbetrieblichen Innovationsorganisation geführt hat.

3.1 Innovationsnetzwerke im Serienmaschinenbau

Der Technikhersteller III ist mit ca. 400 Beschäftigten auf die serielle Entwicklung und den Bau von CNC-Universaldrehmaschinen spezialisiert. Das Unternehmen deckt mit seiner Produktpalette im Bereich der Produktionstechnik ein breites Spektrum von Fertigungsproblemen ab. Schwerpunktmäßig konzentriert es sich auf die Bearbeitung von Drehteilen und baut Universaldrehmaschinen für den Einsatz von der Einzelanfertigung bis hin zur Großserienproduktion. Für die profitable Produktion dieser Standardmaschinen sind Losgrößen bis zu 5.000 Stück anvisiert, die es erlauben, den Preis zu einer strategischen Marketinggröße zu machen. Vorrangig sind deshalb nicht maßgeschneiderte Lösungen, wohl aber das *standardmäßige Angebot* von hoher technischer Qualität und zu einem akzeptablen Preis.

---

3 Diese *Fälle* sind wiederum den Innovationsfallstudien von Asdonk, Herbold, Kowol (1995) entnommen.

Das angestrebte Marktsegment besteht vornehmlich aus Klein- und Mittelbetrieben, die auf den Maschinen ein breites Teilespektrum produzieren, das von der Losgröße 1 (Einzelstückfertigung) bis zu Losgrößen über 10.000 (Serienfertigung) reicht. Die Kunden verteilen sich über viele Branchen, von der Lohndreherei im Familienbetrieb bis hin zur Automobilindustrie. Ein Schwerpunkt ist die mittelständische Industrie, die Automobilindustrie hält dagegen am Gesamtvolumen nur einen Bruchteil. Entsprechend den unterschiedlichen Einsatzbedingungen gilt es als schwierig, ein eindeutiges Anforderungsprofil der Kunden zu entwerfen. Es ergibt sich die Herausforderung, wirtschaftliche Maschinen für sehr unterschiedliche Losgrößen und Verwendungszwecke zu entwickeln.

Für die Innovationstätigkeit stellen Kostenziele bzw. das Preis-Leistungs-Verhältnis wesentliche Parameter dar, womit allerdings keineswegs Vorentscheidungen über den konkret einzuschlagenden Weg der Technikentwicklung gefällt werden. Dazu sind vielmehr Analysen zur Identifizierung wachstumsträchtiger Marktsegmente notwendig. Aber wie gelingt diese Identifizierung, wie und von wem bezieht der Hersteller III diese Informationen?

Im Unterschied zu Kleinserienherstellern und Unikatproduzenten kann der Hersteller III zur Entwicklung neuer Technik nicht auf artikulierte und exakt definierte Kundenaufträge zurückgreifen. Die Innovationstätigkeit wird nicht wie bei der auftragsbezogenen Einzelstückanfertigung durch Kundenwünsche angestoßen und gesteuert, wodurch sich ein erhebliches Risiko fehlgeleiteter Entwicklungsressourcen ergibt. Da Universalmaschinenproduzenten normalerweise darauf angewiesen sind, über bestimmte Zeiträume eine Marktführungsrolle zu übernehmen, die es ihnen gestattet, das eingesetzte Kapital für die Entwicklung und Konstruktion neuer technischer Artefakte zu amortisieren, resultieren daraus Innovationsbedingungen, die sich deutlich von der auftragsbezogenen Einzelstückfertigung unterscheiden. Durchgreifende Neuentwicklungen sind gefordert, um erfolgreich in das angezielte Marktsegment eindringen bzw. um Marktanteile der Konkurrenz übernehmen zu können. Mit einigen Baureihen konnten in der Vergangenheit Standards gesetzt werden, die dem Unternehmen die technologische Führerschaft einbrachten.

Hersteller III ist seinem Selbstverständnis nach ein *global player*, und bei weltweiten Marktaktivitäten strebt er eine technologische Führerschaft an. Die Entscheidungskriterien für eine Innovation sind dementsprechend:

- das erwartete Marktvolumen,
- die antizipierten Entwicklungskosten,
- die technischen Standards der Konkurrenzprodukte und
- die Aufrechterhaltung der technologischen Führerschaft.

Die erste wichtige Feststellung ist, daß weder Marktanalysen und Konkurrenzbeobachtung noch eigene technologischen Entwicklungsmöglichkeiten hinreichend für eine erfolgreiche Innovationstätigkeit sind:

- Marktanalysen führen zunächst nur zu unspezifischen Bedarfen (schneller, besser, flexibler usw.) und häufig auf die Leistungsdaten und Standards der Konkurrenz;
- die vorhandenen technologischen Entwicklungsmöglichkeiten bedürfen der Ergänzung durch anwendungsrelevante Informationen, nicht alle technologischen Probleme können antizipiert werden, nicht alle Verwendungskontexte sind bekannt. Hauseigene Testmöglichkeiten und Simulationen können praktische Vorerfahrungen im alltäglichen Dauerbetrieb nicht ersetzen. Anders gesagt: das Problem ist der Wissenstransfer von der Praxis in den Entwicklungs-, Konstruktions- und Herstellungsprozeß.

Besonders schwierig wird die Verdichtung von Marktanforderungen, wenn es darum geht, in sogenannte Zukunftsfelder einzusteigen.[4] Zunächst ist es ein Problem abzuschätzen, inwieweit mit einem bestimmten Maschinenkonzept genügend Kunden angesprochen werden können, um die notwendigen Investitionsmaßnahmen zu amortisieren. Weiterhin muß spezielles Know-how aufgebaut werden, es müssen Absprachen mit Zuliefern getroffen werden und gegebenenfalls sind Umbaumaßnahmen notwendig, um die Ideen zu realisieren. Am Beispiel des möglichen Einstiegs in neue Automatisierungstechnik verdeutlicht ein Konstrukteur diese Problematik:

> *"Ja, das ist jetzt auch so ein Thema ... Es kommt zunehmend auf uns zu. Der Automatisierungsgrad auch bei den Kleinherstellern, den Garagenfertigern, steigt, auch der möchte schon so etwas haben ... Die Frage ist: Wollen wir in dieses Geschäft einsteigen ... Im größeren Stil müßten wir dann unsere Maschinen anpassen, um so etwas machen zu können. Ob das in Zukunft so sein wird, da tun wir uns im Moment etwas schwer. Es kostet sehr viel Geld, in so ein Geschäft einzusteigen. Es muß ein entsprechendes Know-how aufgebaut werden, d.h. es müssen in der Konstruktion wieder spezielle Leute dafür da sein, es müßte vielleicht eine neue Abteilung geschaffen werden und das ist so eine Sache, wollen wir das?"* (III, Konstrukteur: 33)

---

4 Die Zukunftsoffenheit von Innovationsprozessen ist hier besonders gut sichtbar.

Neben dem spezifischen Risiko, Produkte am Markt vorbeizuentwickeln, ist eine relativ stark ausgeprägte *Marktferne* auch die spezifische Chance des Standardmaschinenbaus: Weitreichende Innovationen können die Ertragslage erheblich verbessern. Allerdings ergeben sich daraus besondere technologische Anforderungen an ein Maschinendesign. Serienproduktion setzt voraus, daß möglichst alle Probleme der Technik schon im Vorfeld erkannt und behoben sind. Weiterentwicklungen und Modifikationen noch beim Technikverwender sind zu vermeiden, da die Maschinen als Standardmaschinen Lösungen für vielfältige Verwendungskontexte bereithalten sollen. Daher müssen die Prototypen genügend Reserven besitzen, d.h. es müssen möglichst viele Anwendungsfälle antizipiert werden, in denen die Technik ihre Funktion erfüllen soll. Anders als im Sondermaschinenbau müssen im Serienmaschinenbau die Funktionen relativ unabhängig von den jeweiligen Kontextbedingungen gewährleistet werden.[5] Die Adaption der Maschine an den speziellen Verwendungszusammenhang erfolgt häufig im Rahmen von Standardoptionen, die Möglichkeiten der flexiblen Anwendbarkeit eröffnen.

Während also Innovationen im Sondermaschinenbau meistens Prototypen sind und diese kontextspezifisch auf die technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen der Technikverwender ausgerichtet sein müssen, müssen Innovationen im Serienmaschinenbau bis zu einem bestimmten Grad kontextunabhängig sein. Ihre Funktionsfähigkeit muß vor der seriellen Produktion für die antizipierten Verwendungskontexte erzeugt werden, was Irrtum nicht ausschließt. Für die Organisation der Innovation ergeben sich von hier andere Bedingungen als für den Sondermaschinenbau. Das führt zu der Frage zurück: Wie gelingt es dem Serienfertiger, wachstumsträchtige Märkte und erfolgversprechende Technikkonzepte zu identifizieren?

Die überraschende Antwort lautet: Durch die *Konstruktion eines repräsentativen Verwendungskontextes*[6], der bestimmte verallgemeinerbare technische Probleme, z.B.

---

5 Mit der Zunahme der kundeninitiierten Optionenvielfalt steigen wiederum die Anforderungen an eine flexible Innovationsorganisation und insbesondere die Anforderungen an die Facharbeiter, diese praktisch zu realisieren.

6 Diese *Konstruktion* kann aus unterschiedlichen Gründen scheitern, aus *inneren Gründen*, wenn das *Konstrukt* nicht genügend mit den angezielten Märkten übereinstimmt, oder aus *äußeren Gründen*, wenn die Turbulenz in den Märkten sehr groß ist und/oder Konkurrenten eine ähnliche Innovation früher auf den Markt gebracht haben. Ob die *Konstruktion* eines Verwendungskontextes angemessen war, entscheidet sich somit immer erst ex post.

hinsichtlich der Durchlaufzeiten, Leistungsanforderungen, Umrüstzeiten oder Genauigkeiten usw. aufzeigt.

> *"Man muß bei einer Universalmaschine in gewisser Weise auch repräsentative Anwenderbedingungen haben, man muß also den typischen Anwender aus der Masse rausziehen. Das ist ein sehr schwieriges Feld. Wir stehen dann immer als Entwickler da und sagen: 'Was sollen wir denn für eine Maschine entwickeln, sagt uns doch, was ihr wollt, wir entwickeln euch das dann. Gebt uns Werte vor, wie groß soll sie sein, wie schnell soll sie sich drehen?'"* (III, Konstrukteur: 35)

Die Konstruktion des repräsentativen Verwendungskontextes muß über die genannten technologischen Problemlagen hinaus aber auch bestimmte Annahmen hinsichtlich des erwartbaren Humankapitals und der organisationalen Routinen einschließen.

Das Beispiel des Serienfertigers III zeigt, daß er sehr genau die Marktaktivitäten der Konkurrenz beobachtet, sich über die fertigungstechnischen Anforderungen seiner Kunden informiert und eigene Aktivitäten unternimmt, um Entwicklungsperspektiven frühzeitig zu erkennen (z.B. durch Kontakte zu außerbetrieblichen Forschungsinstituten). Diese Informationen führen zu einer ersten Bewertung, bevor dann Kontakte mit potentiellen Anwendern aufgenommen werden, um sie für ein gemeinsames Technisierungsprojekt zu gewinnen.

> *"Wir beschreiben ganz grob dieses Feld und nehmen ganz bestimmte Kunden heraus, die sowohl kritisch sind als auch etwas von der Sache, von der Anwendung verstehen, z.T. mehr verstehen als wir. Wobei es äußerst schwierig ist, die richtigen Firmen herauszusuchen. Das geht soweit, daß wir uns dann mit den Fertigungsleitern aber auch mit den Meistern oder auch den Maschinenoperateuren unterhalten. Dann sammeln wir diese Daten und haben dazu die Wettbewerbsdaten und überlegen uns dann eine Strategie. Wenn wir diese Strategie haben, gehen wir mit einigen unserer Gesprächspartner noch einmal ins Gespräch und vertiefen das etwas. Wir laden uns ganz bestimmte Vertreter aus Kernmärkten ein, befragen sie, weil die ja ständig Kundenkontakt haben und ständig in den Produktionshallen der Kunden sind. Und dann ergibt sich ein abgerundetes Bild, vor allen Dingen ein Effekt der Identifikation."* (Hersteller III/Ingenieur: 9)

Die in Zusammenarbeit mit *informierten Kunden* erzeugten Daten kommen in dem Maße für die Produktentwicklung zum Tragen, wie sie sich mit internen Vorstellungen und Erfahrungen kombinieren lassen. Das Anforderungsprofil, das sich so im Zusammenspiel mit den Kunden herausschält, wird vor allem von den Anforderungen beeinflußt, die die Kunden auf ihren Märkten erfahren, (z.B. schnelle Liefer- und Servicebereitschaft und hohe Flexibilität). Diese Marktanforderungen schlagen sich als

entwicklungsrelevante Zielgrößen für den Serienfertiger nieder; zu nennen sind hier beispielhaft niedrige Rüst- und Programmierzeiten und ein hoher Automatisierungsgrad.

In der Regel sind die Kundenwünsche unspezifisch ("*die Kundenbefragung ist oft auch frustrierend, weil da wenig an Vorstellungen kommt*", (III, Konstruktionsleiter: 19), so daß Übersetzungsleistungen und -hilfestellungen des Herstellers notwendig werden. So werden bereits vor der Phase der Konzeptfindung für das neue Produkt bei Kontakten mit Kunden (Verkaufsgespräche, Service, Anwenderbefragungen, Messegespräche, Inbetriebnahme beim Kunden u.a.) Kundenäußerungen aufgenommen und weiterverarbeitet. Aus dem Bündel von Kundenäußerungen werden Schlußfolgerungen gezogen, die in Kombination mit anderen Einflußfaktoren (z.B. FuE-Trends) und Überlegungen in Lösungen umgesetzt werden.

Eine wesentliche Rolle in diesem Prozeß spielt der Kundendienst, der am nächsten an die unmittelbaren Anwenderprobleme herankommt. Deshalb will das Unternehmen diese vorgelagerten Abteilungen (Vertrieb, Service) ausbauen und die betriebsspezifischen Verwendungsbedingungen systematisch erforschen, damit Marktanforderungen einfacher in ein Spektrum technischer Einzelprobleme zerlegt werden können. Konkrete Vorstellungen entwickeln sich in den Köpfen von Anwendern nur selten, sie "*sind nie so konkret definiert*", daß sie unmittelbar zu Produktideen führen würden: Der Innovationsprozeß beim Hersteller III setzt also Umwelt- bzw. Orientierungsoffenheit voraus. Relevante Umwelt- bzw. Marktinformationen werden aber nicht einfach en block von außen bezogen, sondern unterliegen selbst wiederum einem organisationsinternen Auswahlprozeß:

> "*Dazu muß ich eins noch sagen: das sind keine Kundenvorstellungen, sondern das sind dann Schlußfolgerungen, die wir aus vielen solcher Kundenäußerungen ziehen. Die Schlußfolgerung passiert bei uns und auch das Finden einer Lösung.*" (III, Geschäftsleiter: 49)

Den *idealen*, d.h. den vollkommen repräsentativen Kunden gibt es nicht, er ist vielmehr eine Konstruktion bzw. ein Bild des innovierenden Herstellers, ohne eine empirisch-konkrete Entsprechung auf dem Markt.

Hinter dieser Charakterisierung verbirgt sich das zentrale Dilemma der Innovationsvorhaben der Universalmaschinenproduzenten, die keiner Auftragsbindung unterliegen: Einerseits sehen sie sich mit wenig spezifizierten Markt- bzw. Kundenanforderungen konfrontiert, andererseits können sie es sich bei Gefahr des Untergangs

nicht leisten, *haarscharf* neben den Bedürfnissen der Anwender her zu konstruieren. Diese Unsicherheit bezüglich der Marktumwelt hat in den letzten Jahren zu einem starken Bedeutungszuwachs von Vertriebsorganisation und Kundendienst beigetragen, eine Tendenz, wie sie im übrigen kennzeichnend ist für das gesamte Branchensegment.[7]

Ein anderes Problem, auf das Hersteller stoßen, wenn sie sich bei der Entwicklung neuer Techniken nicht zu sehr auf eigene Standards und Vorstellungen beziehen wollen, liegt in der Tatsache, daß sie bei der Marktbeobachtung nicht nur auf Anwenderbedürfnisse stoßen, sondern häufig auf von der Konkurrenz lancierte Leistungsdaten und Standards.

Wenn der Hersteller auf die technischen Leistungsdaten der Konkurrenz trifft, bleiben die konkreten Anwenderprobleme und -anforderungen noch zu entschlüsseln. Je mehr es den Technikproduzenten gelingt, in die Problemdefinitionsprozesse der Anwender einzugreifen, um so mehr werden sie in der Lage sein, entsprechende Lösungen vorweisen zu können. Diesem Artikulations- und Problemdefinitionsprozeß in den Verwendungskontexten gelten gegenwärtig die verstärkten Anstrengungen der Hersteller im Serienmaschinenbau.

Die entscheidende intraorganisatorische Innovation des Unternehmens III stellt deshalb der Versuch dar, Vertrieb und Serviceabteilungen in den Innovationsprozeß einzubeziehen. Mit diesem Brückenschlag zum Anwender der Werkzeugmaschinentechnik soll die organisatorische Basis des Innovationsprozesses verbessert werden. Die systematische Einbeziehung der marktbeobachtenden Abteilungen und die Identifizierung relevanter Kunden ist im Vergleich zu einer Orientierung an anonymen Marktkräften das effizientere Verfahren.

Als handlungsleitend und effizient wird sich die Konstruktion eines Verwendungskontextes aber nur dann herausstellen, wenn es gelingt,

- *informierte und kritische* Kunden zu identifizieren,
- Kundenbeziehungen aufzubauen, die auf der Basis weitreichender Vertrauensbeziehungen einen Einblick in die fertigungstechnischen Problemlagen zulassen und
- die so erzeugten Informationen über entsprechende organisatorische Maßnahmen und Kanäle in den Herstellerbetrieb zurückzuvermitteln.

---

7 Vgl. auch Häusler 1989.

Mit Hilfe solcher Bemühungen entsteht ein Bild der relevanten Marktumwelt, das zu einer Leitidee für die Produktinnovation verdichtet werden kann. Zunächst existiert der Markt nur als organisationsintern erzeugtes Bild. Ob dieses Bild den tatsächlichen Gegebenheiten entspricht und sich aus ihm wesentliche Parameter für die Produktentwicklung gewinnen lassen, muß im Zuge fortlaufender Rückkopplung von Kritik und Anregung relevanter Kunden nach und nach überprüft werden. Für die Kaufentscheidungen des Kunden sind insofern nicht nur die betreffenden Beschaffungsabteilungen, sondern in steigendem Maße auch die betrieblichen Praktiker (Informatiker, Meister, Facharbeiter) von Bedeutung.

Der an sich zieloffene Innovationsprozeß mit einer Vielzahl technischer Lösungsentwürfe bedarf bestimmter, die Vielzahl einschränkender Orientierungspunkte, um zielgerichtete Entwicklungstätigkeiten hervorzubringen. Dies geschieht im untersuchten Fallbeispiel durch

- eine systematische Stärkung der Abteilungen mit Umweltkontakt; die Hauptstrategie, die Komplexität zieloffener und wenig strukturierter Produktinnovation einzuschränken, liegt in der Verbesserung der betriebsspezifischen Übersetzungsleistungen der Anforderungen, mit denen sich relevante Kunden konfrontiert sehen;
- die Übersetzung relevanter Anwenderanforderungen in ein Maschinendesign und
- die Entwicklung dauerhafter Hersteller-Pilotanwender-Beziehungen, wodurch die Chance eröffnet wird, über rekursive Lernprozesse die Produktinnovation zum Erfolg führen zu können.

Um die Unsicherheiten und Unabwägbarkeiten der Funktionsfähigkeit von Maschinen im vorseriellen Stadium zu verringern, hat der Hersteller III weitere Möglichkeiten. Neben der schon erwähnten *Blue-box* (vgl. Abschnitt 2 in diesem Kapitel) zählt hierzu auch eine möglichst große Standardisierung der Teile. Unsicherheitsreduktion ist durch eine Reihe von Vortests, Dauertests und Praxiserfahrungen möglich. Andererseits gilt für Innovationsvorhaben, daß die Möglichkeiten zur Erprobung neuer Komponenten und Bauteile begrenzt sind, da der Praxisbezug noch fehlt. Hier bietet sich dem Hersteller die Möglichkeit besonders kritische und informierte Kunden zu gewinnen, um im Vorfeld der seriellen Produktion *Feldtests* durchzuführen. Diese *Feldtests* dienen der Wissensgenerierung, die unter den eigenen Testbedingungen nicht gelingt:

> "*Es sind einfach Dinge, wo Laborversuche die Produktionsbedingungen nicht widerspiegeln. Wir haben Fälle gehabt, wo wir hier bei uns eindeutig klarkamen und plötzlich kommen Sie irgendwo in Italien in einen Betrieb und Sie haben eine höhere Umgebungstemperatur und die Steuerungen schalten nur aus. Und einen anderen Fall hatten wir, wo der eigentlich fast nur mit hydraulischen Maschinen gearbeitet hat, da war soviel Ölnebel in der Luft, daß nach vier Wochen die ganzen Platinen so verölt war, daß nichts mehr ging. Das heißt, da kommen Sie mit normalen Bedingungen nicht mehr klar. Es gibt die verrücktesten Sachen.*" (III, Ingenieur: 33)

Die Konditionen für die Pilotanwender können dabei variieren. Entweder verbleibt die Maschine Eigentum des Herstellers III oder sie wird zu günstigen Konditionen angeboten. Jedenfalls ist die Kooperation auch für die Pilotanwender vorteilhaft.

Für den Hersteller III ist der Aufbau von Kooperationsbeziehungen zu Pilotanwendern von besonderer Bedeutung, da er darauf angewiesen ist, die Leistungsfähigkeit eines neuen Produktes unter Realbedingungen zu erproben. Hier geht es um den antizipierten Verwendungszweck der Innovation. Dementsprechend werden bestimmte Kriterien definiert und der Vertrieb übernimmt die Aufgabe, einen geeigneten Pilotanwender zu finden, der, was besonders wichtig ist, das Vertrauen des Unternehmens besitzt:

> "*Normal ist es so, daß wir sagen, wir suchen jetzt zwei oder drei Anwender und da wird dann definiert, was eigentlich getestet werden soll. Dann bekommt der Vertrieb die Aufgabe und es sollte möglichst ein Deutscher sein, der sollte bereit sein, uns in den Betrieb zu lassen und er sollte möglichst nahe dabei sein. Und wenn diese Bedingungen erfüllt sind, dann kommt der Vertrieb an und hat fünf Vorschläge und argumentiert, warum der Kunde gerade wichtig ist. Wenn ich als Pilotanwender jemanden nehme, der muß Vertrauen zur Firma haben, der muß offen sein, der muß die Probleme offen sagen und zwar uns und nicht dem Wettbewerber. Wenn er damit zum Wettbewerber geht, dann wundern wir uns, daß wir nichts verkaufen.*" (III, Ingenieur: 30)

Wird ein möglicher Pilotanwender gefunden, dem zugetraut wird, einen Prototypen *austesten* zu können, beginnt eine intensive interaktive Zusammenarbeit zwischen diesen Akteuren. In diesem Beispiel (Innovationsfall III_1) waren es insbesondere die fortlaufenden Rückkopplungen und die Kritik des Anwenders, die die benötigten Informationen für den Hersteller erbrachten, um die für den späteren anonymen Markt notwendigen stabilen Prozesse der neuen Technik zu generieren:

> "*Sie kriegen langfristige Schäden oder Schwachstellen, die kriegen Sie ja nicht anders raus. Wir können hier unter solchen Bedingungen nicht produzieren. Wenn der Anwender dreischichtig Produktion fährt, dann erfährt der im halben Jahr erheblich mehr, als wir hier in zwei Jahren Testfeld.*" (IV1, Ingenieur: 29)

Bevor die Prototypen ausgeliefert werden, werden sie beim Hersteller verschiedenen Tests unterworfen. Es werden mit der Maschine bestimmte Musterteile gedreht, für die eine betriebsinterne Norm existiert, nach der die Genauigkeit und die Oberflächengüte bestimmt werden können. In dieser Phase wird der Versuchsingenieur aktiv, der die Maschine kurzzeitigen Belastungstests unterwirft. Er hält auch den Kontakt zum Pilotanwender und führt dort eigene Tests durch. Die Ergebnisse werden dann der Konstruktion zurückgemeldet. Die Zusammenarbeit mit Pilotanwendern dient somit auch dem Ziel, neue Verwendungskontexte aufzubauen und zu erproben. Die Pilotanwender sind Kunden, die schon über vielfältige Erfahrungen mit Maschinen von Hersteller III verfügen. Dorthin werden die Maschinen gebracht, um "*Späne zu machen*".

> "*Die Mindestanforderung, die testen wir. Der Kunde (gemeint ist hier der Pilotanwender III_1 geht richtig ran, aber Hallo, da ist Schichtbetrieb, rund um die Uhr und da wird heute das und morgen das gefertigt. Genau das passiert bei uns nicht.*" (III, Konstrukteur: 27)

Der Technikverwender III_1 produziert Armaturen (Ventile) und konkurriert in Marktsegmenten, die als preiskompetitiv einzuordnen sind. Die Wettbewerbsposition ergibt sich vorrangig nicht aus dem technischen Know-how der Produkte (Qualitätsmerkmale), sondern aus dem Verfahrens- bzw. Fertigungswissen kostengünstiger Produktion. Somit ist die Wettbewerbsposition des Unternehmens direkt abhängig von der verfügbaren Produktionstechnik und dem fertigungstechnischen Know-how der Mitarbeiter. Beschaffungsinitiativen gehen deshalb nicht von der Konstruktion oder der Einkaufsabteilung, sondern von der Werkstattleitung aus. Der Betriebsleiter stellt selbst kostenrechnerische Überlegungen an und ergreift dann die Beschaffungsinitiative.

Die angestrebten Volumenmärkte erfordern eine Produktionstechnik, die im wesentlichen der Serienproduktion entspricht und damit um eine Optimierung der Produktionsprozesse (höhere Qualität, geringere Herstellungskosten) bemüht ist.[8] Zeitökonomie ist deshalb ein dominierender Parameter der technischen Beschaffung, aber auch intelligenter Kombinationen von Arbeits- und Maschinenlaufzeiten als organisatorische Herausforderung.

Der Anwender III_1 hat sich auf vier bis fünf Werkzeugmaschinenhersteller als Techniklieferanten festgelegt, die sich teilweise in unmittelbarer räumlich-geographi-

---

8 Obwohl eine deutliche Tendenz zu sinkenden Losgrößen verzeichnet wird. (Vgl. III_1, Fertigungsleiter: 5)

scher Nähe zum Unternehmen befinden. Ausschlaggebende Gründe für eine Beschaffungsentscheidung sind - neben dem Preis - eine starke regionale Präferenz zu den benachbarten Zulieferanten, die mit der hohen technischen Verfügbarkeit durch schnelle und zuverlässige Präsenz der Servicetechniker und die Referenz eines Technikherstellers begründet sind.

Die Kontakte zwischen dem Hersteller III und dem Technikverwender III_1 existieren seit über zwanzig Jahren. Der Betriebsleiter von III_1 hat in diesen Jahren immer wieder seine fertigungstechnischen Probleme mit den Konstrukteuren des Serienherstellers III besprochen und mit diesen - für je neue fertigungstechnische Probleme - neue Lösungen entwickelt:

> "*Es sind immer beherzte Leute dagewesen, mit denen ich sehr viel Kontakt hatte. Wir haben eigentlich bei jeder Maschine, die wir gekauft haben, auf die vorhandenen Maschinen aufgebaut, und ausgehend von gelösten Problemen, immer wieder neue Probleme gelöst. Wir sind auf eine Wellenlänge gekommen und das war einfach so ein innovativer Wettbewerb, etwas, was noch nie gemacht worden war, dann doch noch zu verwirklichen.*" (III_1, Betriebsleiter: 4f.)

Insbesondere die Entwicklung persönlicher Beziehungen, die Herausbildung eines gemeinsamen Verständnisses technologischer Problemlagen und die Bewältigung gemeinsam erkannter Fertigungsprobleme kennzeichnen diese Hersteller-Verwender-Beziehung. Die Stabilisierung der Beziehung emergierte dann neue Formen der Zusammenarbeit, so daß der Kunde zu einem Pilotanwender für Prototypen des Herstellers III wurde. Bis zum Abschluß der Erhebungen hat der Pilotanwender fünfzig Maschinen des Herstellers III bezogen, wobei allerdings nicht jede Maschine als Pilotanwendung definiert wurde.

Im untersuchten Innovationsfall interessierte sich III_1 für einen neuen Prototypen, allerdings war der Betriebsleiter der Meinung, daß dessen Automatisierungsgrad nicht ausreichend für die Fertigungsanforderungen seines Betriebes war. Er bevorzugte eine mannlos einsetzbare technische Lösung. Hersteller III hatte zu diesem Zeitpunkt ein neues Maschinenkonzept entwickelt, das für eine mannlose Fertigung gedacht war, es fehlten allerdings praktische Erfahrungen. Der Hersteller schlug dem Anwender vor, ihm diese Maschine kostenlos zur Erprobung unter betrieblichen Alltagsbedingungen zu überlassen. Für den Fall des erfolgreichen Einsatzes wurde "*ein sehr großer Nachlaß*" (III_1, Betriebsleiter: 6) vereinbart. Im Gegenzug verpflichtete sich der Anwender, sowohl die unterschiedlichsten Tests durchzuführen als auch die Konstrukteure des

Herstellers und potentielle Kunden in den Betrieb zu lassen. Zunächst war allerdings vordringlich, möglichst viel technologisches Wissen zu generieren. Dieses Know-how zu erzeugen, wäre unter den Testbedingungen des Herstellers nicht möglich gewesen.

Die räumliche Nähe des Pilotanwenders gestattet es dem Technikhersteller, potentielle Kunden zu Vorführungen zu dem Anwender zu schicken. Da dort die Maschinen unter Produktionsbedingungen laufen - im Gegensatz zu den Vorführabteilungen des Herstellers - ergibt sich die verkaufsförderliche Möglichkeit, stabile Prozesse in einem Verwendungskontext zu demonstrieren.

Bislang konnte der Eindruck entstanden sein, es handele sich bei dem Beispiel um eine einseitige Beziehung vom Anwender zum Hersteller. Das aber ist nicht der Fall. Aus der Sicht des Anwenders handelt es sich bei diesen Pilottests keineswegs nur um passive Anwendungen nach den Vorstellungen des Herstellers, sondern um ein aktives Wechselspiel von Erprobungen, Tests und Optimierungen für den Hersteller und für eigene Fertigungsaufgaben. Die Erzeugung von Technologiedaten mit einer kostenlos bereitgestellten Maschine, die unter den normalen Testbedingungen des Herstellers III nicht zu erzielen sind, dient dem Anwender ebenfalls als Informationsbasis für eigene Interessen. Den Anwender interessiert, wie sein konkretes Fertigungsproblem optimal gelöst werden kann, den Hersteller interessieren Erfahrungen über das Verhalten der Maschine, die bei einem möglichst breiten Bearbeitungsspektrum im Normalbetrieb generiert werden:

> "*Wir hatten das Interesse, die Merkmale dieser Maschine, die für uns zukünftig von sehr großer Wichtigkeit waren, genau zu testen, d.h. die Wiederholgenauigkeit, das Wärmeverhalten, die Stabilität, die Leistung der Maschine insgesamt und die Verfügbarkeit der Maschine. Diese Parameter dienen als Anzeichen, wie lange Schmieröle halten, wie lang das Hydrauliköl die richtige Temperatur hat und wann unter Produktionsbedingungen Störfälle eintreten. Wir haben das auch rausgefunden. Hersteller III hatte andere Interessen, er wollte diese Maschine eigentlich multifunktional testen, mit hydraulischem Reitstock, Linksdreh, Futterdreh, Spitzendreh etc. Das haben wir teilweise gemacht, um eben die Funktionen zu kontrollieren, die Werkzeugfreiheitsgerade zu messen. Das war ein Zugeständnis von uns, wir haben dann entsprechend ein Teilespektrum dazu genommen, das wir da eigentlich gar nicht darauf fertigen wollten.*" (III_1, Betriebsleiter: 7)

Die längerfristige Zusammenarbeit mit dem Technikhersteller hat also auch für den Technikverwender unmittelbare Vorteile. Die Standortnähe erlaubt eine schnelle Störfallbehebung, den weitgehenden Verzicht auf zusätzliches Instandhaltungspersonal und einen optimalen Service. Das kostenlose Aufstellen von Prototypen zum Test beim

Anwender oder die mit starken Preisnachlässen angebotene Machine reduzieren darüber hinaus die notwendige Eigenkapitalbindung für laufende Investitionen. Eine intensive Hersteller-Anwender-Beziehung ist weiterhin bedeutsam für das organisationale Umfeld in der Werkstatt. Gerade die Flexibilisierung von Arbeitszeiten und die Verlängerung von Maschinenlaufzeiten, also die "*Entkopplung von Arbeits- und Produktionsprozeß*" (Springer 1987) bildet eine Störfallquelle, die durch eine möglichst große Einheitlichkeit des Maschinenparks verringert werden kann.

Die auf wechselseitigen Interessen basierende Zusammenarbeit setzt voraus, daß Hersteller und Anwender eine Vertrauensbasis schaffen, um mögliche Risiken zu minimieren. Der Hersteller kann befürchten, daß innovationsrelevantes Know-how und damit potentielle Entwicklungsvorsprünge über den Anwender zu unmittelbaren Konkurrenten abfließen, der Anwender kann mutmaßen, ohne Gegenleistung als *Versuchskaninchen* mißbraucht zu werden und selbst einen Know-how-Abfluß befürchten, in diesem Fall zu seinen Konkurrenten, die bei ähnlichen Fertigungsproblemen auch Maschinen vom Hersteller III beziehen.

> "*Unsererseits schützen wir uns eigentlich dahingehend, daß uns III im Vorfeld fragt, ob sie zu dem Zeitpunkt X mit einem Kunden vorbeikommen können. Grundsätzlich fragen wir dann, aus welcher Branche der kommt. Das weiß III, daß wir nicht dem direkten Wettbewerb Zutritt gewähren; von daher kommen die erst gar nicht mit solchen Kunden an. Es wird da nicht so ein langwieriger Schriftverkehr im Vorfeld gemacht, sondern das läuft über Vertrauen beider Firmen. Jeder, der mit diesem Projekt zu tun hat, weiß natürlich auch, daß ich grundsätzlich nichts davon habe, wenn ich den Wettbewerber von Hersteller III diese Maschine auseinandernehmen lasse. In dem Moment könnte ich ja nun auch gar nicht mehr produzieren.*" (III_1, Fertigungsleiter: 25)

Eine intensive Hersteller-Anwender-Beziehung ist nur schwerlich zu substituieren, da ihr Aufbau beiderseits Zeit und Engagement kostet und Informations-, Such- und Verhandlungskosten verursacht, die sich kurzfristig nicht rentieren. Partner müssen ihre Maschinen auf den Verwendungskontext anpassen; dabei können unbeabsichtigte und unvorhersehbare Probleme auftreten. Der Wechsel einer Koordination über vertrauensbasierte Hersteller-Anwender-Beziehungen zu einer neuen Hersteller-Anwender-Beziehung oder zu einer Koordination über Märkte ist nicht kostenneutral zu realisieren, da die Lösung von neuen fertigungstechnischen Problemen durch avancierte Fertigungstechnik, die am Markt noch nicht verfügbar ist, nur in intensiven Abstimmungsprozeduren erreichbar ist. Der Fertigungsleiter faßt im folgenden Zitat die Vorteile dieser

Hersteller-Anwender-Beziehung in expliziter Abgrenzung zu einer möglichen Geschäftsbeziehung mit anderen Zulieferanten zusammen und weist darauf hin, daß die Vorteile gegenüber den möglichen Nachteilen überwiegen:

> *"Ein weiterer Grund ist natürlich, ständig technisch vorn zu liegen, durch die neuesten Maschinenkonzepte Erfahrungen zu sammeln, zu wissen, ob das eine Maschine ist, die für uns weiter in Frage kommt. Wir sammeln eigene Erfahrungen und müssen nicht auf Dritte hören. Jeder hat seine firmenspezifische Sprache, seine Anwendungsfälle, sein Know-how, andere praktizieren vieles anders, haben eine andere Struktur, haben eine andere Organisation, so daß man vieles nicht vergleichen kann. Der Nachteil des Ganzen ist natürlich, daß man Zeit investiert, die Maschine nicht vom Tage X an sofort problemlos läuft und auch des öfteren Störungen auftreten."* (III_1, Fertigungsleiter: 24)

Sofern die Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Anwender erfolgreich ist, beinhalten die wechselseitigen Beziehungen für beide Partner ein Positivsummenspiel: Der Hersteller kann in einer vorseriellen Phase den Prototypen unter betrieblichen Alltagsbedingungen auf stabile Prozesse hin testen lassen und somit noch vor dem Markteintritt eine höhere technologische Sicherheit realisieren. Der Technikverwender kann seinerseits auf einen fertigungstechnischen Vorsprung vor seinen Konkurrenten hoffen, da zum Zeitpunkt der Pilotanwendung eines Prototypen die Maschine noch nicht am Markt angeboten wird.

Zusammenfassend lassen sich nun einige allgemeine Aspekte solcher Netzwerkbeziehungen betonen: Die Entwicklung neuer Baureihen geschieht in der Serienfertigung in enger Kooperation mit repräsentativ ausgewählten Pilotanwendern. Die Anforderungen, die der Hersteller an den Partner stellt, sind u.a.

- die technologische Versiertheit,
- eine breite Palette von Bearbeitungsaufgaben,
- ein breites Verwendungsspektrum für die Produktionstechnik und
- qualifizierte Facharbeiter.

Besonders wichtig sind wechselseitiges Vertrauen und Know-how-Schutz: Für den Technikhersteller ist es bedeutsam, daß die Testreihen, Daten und Konstruktionspläne zur Produktinnovation nicht zum Konkurrenten gelangen, der Anwender möchte, daß seine Innovationsaktivitäten geschützt werden. Dieser Know-how-Schutz ist auch maßgeblich dafür verantwortlich, daß z.B. die Automobilindustrie bislang eher konservativ investiert hat, d.h. nur in wenigen Fällen auf Produkte der japanischen Konkurrenz zurückgegriffen hat. Wie ein Verwender berichtete, ist man deshalb besonders vorsich-

tig, da nicht ausgeschlossen werden kann, daß wichtige Blaupausen zur Konkurrenz gelangen.

Ein gewichtiges Element für den Austausch in den Innovationsnetzwerken ist die Herausbildung einer gemeinsamen Sprache, d.h. eines gemeinsamen *technischen Jargons*, der koordinationserleichternd ist. Der Hersteller kennt die fertigungstechnischen und betriebsinternen Qualitätsanforderungen sowie das vorhandene Qualifikationspotential des Anwenders und dieser wiederum kennt die vom Hersteller gelieferte Produktqualität. Mißverständnisse in der Diskussion technischer Probleme treten dann selten auf, viele innovationsrelevante Daten können über technische Medien (z.B. Telefon) transferiert werden und das jeweilige organisationale Umfeld ist bekannt. Vertrauen und Reziprozität bilden die Grundlage eines permanenten Know-how-Transfers zwischen Hersteller und Technikverwender. Der Transfer bezieht sich nicht nur auf Phasen der Pilotanwendung oder eines Beschaffungsfalles, sondern stellt einen fließenden Prozeß dar. Im oben genannten Beispiel existierte die Kooperation schon seit annähernd 15 Jahren. Verträge spielen in solchen Pilotanwendungen eine untergeordnete Rolle. Die Maschinen werden zum Teil kostenlos zur Verfügung gestellt oder nach den unterschiedlichen Testphasen erheblich günstiger angeboten. Aus der Sicht des Technikverwenders handelt es sich bei diesen experimentellen Implementationen keineswegs nur um passive Anwendungen nach den Vorstellungen des Herstellers, sondern um ein aktives Wechselspiel von Erprobungen, Tests und Optimierungen für den Hersteller und für eigene Fertigungsaufgaben. Während der Serienhersteller die Möglichkeit einer seriellen Produktion des Prototypen für unterschiedliche Verwendungskontexte (Dekontextualisierung) erprobt, testet der Verwender die mit der neuen Technik verbundene Möglichkeit der Prozeßoptimierung (Rekontextualisierung). Diese Differenz erfordert ein Vorgehen, das sich auf gemeinsame Aushandlungsprozesse stützt und Synergien erzeugt.

Zwar werden auch im Sondermaschinenmaschinenbau Innovationen experimentell implementiert, doch ist hier die Dekontextualisierung der Technik nicht erforderlich. Da es sich meistens um Unikate handelt und diese für einen konkreten Verwendungskontext hergestellt werden, steht hier die Kontextualisierung im Vordergrund der gemeinsamen Bemühungen.

3.2 Innovationsnetzwerke im Sondermaschinen- und Kleinserienbereich

Anhand eines Fallbeispiels aus dem Sonder- bzw. Kleinserienbereich wird im folgenden der Strukturaufbau zwischenbetrieblich organisierter Innovationsprozesse weiterverfolgt. Da solche Unikat- bzw. Kleinserienfertiger in der Regel nicht für einen anonymen Markt innovieren, die Technikverwender zumeist genaue Vorstellungen über ihre Anforderungen besitzen und die Technik jeweils lokalen, kontextsensitiven Anforderungen genügen muß, ergeben sich hier andere Voraussetzungen für den Aufbau eines Innovationsnetzwerkes als im Bereich der Serienfertigung. Diese beziehen sich insbesondere auf die *präkontraktuellen Verhandlungen* und die Bedeutung der *experimentellen Implementation*. Andererseits wird sich zeigen, daß die Vernetzungsstrukturen, die zwischen den Technikherstellern und ihren -verwendern im Segment des Sondermaschinenbaus emergieren, auch Charakteristika erzeugen, die mit den oben beschriebenen vergleichbar sind. Denn während der Serienfertiger in Pilotprojekten die Dekontextualisierung der Technik betreibt - und zwar mittels einer Kontextualisierung, die die Möglichkeit der Verallgemeinerung bietet - und damit die Voraussetzungen für ein marktsegmentspezifisches oder marktweites Engagement herzustellen versucht, können die Innovationsprojekte im Sondermaschinenbau generell als Pilotprojekte charakterisiert werden.[9] Aus der Sicht der Techniksoziologie betrachtet steht hier die Kontextualisierung im Zentrum der Innovationsaktivität[10], ohne daß die Anforderung der Verallgemeinerbarkeit gegeben wäre.[11]

---

9 Das wissen auch die Technikverwender, die in den Experteninterviews auch von *Bananenmaschinen* sprachen und dies nicht etwa abwertend meinten, sondern damit zum Ausdruck brachten, daß die Technikimplementation eine aktive Phase des Innovationsprozesses darstellt, die Sondermaschine also im Verwendungskontext noch *reift*, da erst dort wesentliche Modifikationen der Technik vorgenommen werden (können).

10 Auf der Seite der Technik wird dieser Unterscheidung auch dadurch Rechnung getragen, daß Serienmaschinen häufig mit mehr Redundanz ausgestattet sind, um in den jeweiligen Verwendungskontexten stabile Prozesse zu ermöglichen. Beispielsweise muß eine Serienmaschine, die weltweit angeboten werden soll, den jeweils abweichenden nationalen Bedingungen von vornherein entsprechen. Eine Sondermaschine muß demgegenüber "nur" für den speziellen Verwendungszweck konstruiert und gefertigt werden.

11 Beachtet werden sollte allerdings, daß dieser idealtypischen Gegenüberstellung die empirische Tendenz zur modularen Bauweise gegenübersteht, die darauf zielt, Gegensätze zwischen Sonder- und Serienmaschinen tendenziell einzuebnen.

Im folgenden wird ein Innovationsfall präsentiert, in dem es zu einer außerordentlichen Belastung der zwischenbetrieblichen Kooperation kam. Die Präsentation dieses Beispiels soll verdeutlichen, daß ein prekärer Innovationsfall, der erhebliche *Irritationen* und Belastungen der zwischenbetrieblichen Kooperation auslöste, diejenigen Mechanismen der Konfliktregulierung nutzte, die beim Aufbau des *Innovationsnetzwerkes* erzeugt wurden, so daß die Probleme bearbeitet werden konnten, ohne daß das Netz zerstört worden wäre.

Der Betrieb I ist ein mittelständisches Unternehmen der Werkzeugmaschinenbauindustrie. Vorwiegend in Kleinserienfertigung bzw. Einzelfertigung nach Kundenwünschen produziert das Unternehmen Konsol- und Bettfräsmaschinen[12] - mit unterschiedlichen Größenordnungen - für das In- und Ausland. Reine FuE gibt es - wie in den meisten Klein- und Mittelbetrieben des WZMBs - im Unternehmen I nicht. In der Konstruktionsabteilung wird in der Regel nach bekannten Zielvorgaben konstruiert und entwickelt. Diese Zielvorgaben für die Konstruktionen bzw. Neuentwicklungen ergeben sich allgemein aus der Wettbewerbssituation und im besonderen durch die je spezifischen Kundenanforderungen. Umgesetzt werden diese Anforderungen in den Konstruktions- und Werkstattbereichen.

Im Bereich der Herstellung von Fräsköpfen - für die ein firmeneigener Standard besteht - besitzt das Unternehmen eine hohe technologische Kompetenz, die auch von den Anwendern herausgestellt wurde. Die Fertigungstiefe innerhalb des Unternehmens ist in den letzten Jahren zwar zurückgegangen, aber immer noch ein wichtiger Faktor. Gußteile (unbearbeitet), Elektronik (Steuerungen), Hydraulik und Kleinteile werden von Zulieferern aus ganz Deutschland bezogen, dabei wird auf bekannte und auch von der Konkurrenz in Anspruch genommene Zulieferer unter Qualitätsgesichtspunkten zurückgegriffen. Alles andere wird im Betrieb selbst hergestellt, insbesondere die Bearbeitung des Gusses der Bett- und Konsolfräsmaschinen. In einem aufwendigen Verfahren wird der gelieferte Guß "geschabt" - dies ist eine extrem anspruchsvolle handwerkliche Tätigkeit, da hier im μ-Bereich (eintausendstel Millimeter) gearbeitet wird.

---

12 Der Unterschied zwischen den Konsol- und Bettfräsmaschinen besteht darin, daß bei einer Bettfräsmaschine der Tisch auf zwei Achsen längs und quer fährt. Bei einer Konsolfräsmaschine steht der Tisch auf einem Ständer und fährt darauf in drei Achsen. Die Bettfräsmaschine dient der Bearbeitung großer Werkstücke, die Konsolfräsmaschine der Bearbeitung kleiner Werkstücke. Die technische Entwicklungsrichtung zielt gegenwärtig auf den Ausbau des mehrachsigen Fräsens, d.h. der technische Trend geht in Richtung Komplettbearbeitung.

Die Innovationsaktivitäten werden - wie schon gesagt - häufig von den Anwendern angestoßen, zum Teil erstellen die Kunden detaillierte Pflichtenhefte.[13] Dies ist aber nicht als eine reaktive Innovationsstrategie mißzuverstehen, denn in den Aushandlungsprozessen mit den Technikverwendern bringt der Hersteller auch eigene Vorstellungen ein und versucht, die fertigungsspezifischen Bedarfe eines Verwenders mit innovativen Vorschlägen zu optimieren.[14] Im Segment des Sondermaschinenbaus wird besonders deutlich, wie sehr die Technikentwicklung nicht nur technische Entwicklung, sondern ebenso sehr Konstruktion von Verwendungskontexten ist.

Anders als bei den Serienfertigern, die die Maschinen nach Fertigstellung auf einem anonymen Markt prospektmäßig verkaufen können, müssen beim Verkauf von Sondermaschinen für bestimmte Verwendungszwecke intensive Abstimmungsprozesse vorausgegangen sein. Eine wichtige Unterscheidung zu den Serienfertigern bezieht sich hier auf lange Aushandlungsphasen vor dem eigentlichen Kontrakt. Wie im ersten Abschnitt dieses Kapitels genauer herausgearbeitet wurde, werden in den *präkontraktuellen Verhandlungen* sukzessive technische Parameter und ökonomische Bewertungskriterien aufeinander abgestimmt sowie technische Optionen verdichtet und festgelegt. Darüber hinaus werden in dieser Phase potentielle Zulieferanten einbezogen, um verschiedene technologische Alternativen zu prüfen. Das betrifft auch Fragen zum In- und Outsourcing. Die *präkontraktuellen Verhandlungen* dienen hier dem *Weben* und *Schließen* eines Innovationsnetzwerkes, in der Sprache der Selbstorganisationstheorie: der Strukturierung und rekursiven Schließung des Innovationsnetzwerkes. Die rekursive Schließung umfaßt die gemeinsame Erzeugung von Anfangsbedingungen, mit denen die Kontextualisierung der Technik für den spezifischen Verwendungszusammenhang vorangetrieben wird.

Das Unternehmen I versteht sich auch als Problemlöser, wenn es zukünftige Bedarfe der Kunden zu antizipieren versucht. Viele Anwender der Konsol- und Bettfräsmaschinen sind Kleinbetriebe mit unter dreißig Beschäftigten, die sich auf

---

13 "... *die liefern Pflichtenhefte, das können Bücher sein von an die 100 Seiten.*" (I, Geschäftsleitung: 1/19)

14 "*Unsere Konstruktion denkt sich Dinge aus, die noch gar nicht gefertigt werden. Und dann überlegt man sich, können wir dem Kunden bei dieser Sache behilflich sein oder können wir vielleicht sogar noch auf die Konstruktion ein bißchen Einfluß nehmen, damit so eine Maschine, die wir gerade bauen, auch für diesen zukünftigen Bedarfsfall des Kunden paßt.*" (Ebd.)

bestimmten Gebieten spezialisiert haben (*Nischenproduzenten*) und die vorwiegend Einzel- und Kleinserienproduktion betreiben. Für diese Kunden ist es wichtig, möglichst viele Arbeitsgänge in einer einzigen Aufspannung durchzuführen, damit aufwendige Rüst- und Nebenzeiten entfallen. Aufgrund der speziellen Verwendungskontexte geschieht die Entwicklung neuer Baureihen für den Kleinserienbereich immer mit versierten Anwendern, um Rückmeldungen und etwaige Funktionsdefizite der Prototypen frühzeitig aufzuspüren.[15]

Die *experimentelle* Erprobung hat eine strategische Bedeutung für den Innovationsprozeß. Beispielsweise existiert eine langjährige Kooperation mit einem hochspezialisierten Nischenproduzenten der Autozuliefererindustrie (Unternehmen I_2). Die bisherigen Erfahrungen mit diesem Pilotanwender waren für das Unternehmen besonders wertvoll, da dieser Anwender spezielle Teile auf den Fräsmaschinen bearbeitet und somit die Bandbreite des Leistungsvermögens der Maschinen *austestet*. Die hergestellten Maschinen werden zunächst zwar im eigenen Unternehmen getestet, es müssen auch Meßprotokolle erstellt werden, dennoch sind - wie schon mehrfach herausgestellt - Pilotanwender aus zwei Gründen besonders wichtig: Erstens ist der alltägliche Dauerbetrieb der Maschine aus der Sicht des Herstellers ein Dauertest der Maschine. Zweitens unterscheiden sich die anwenderspezifischen Fertigungsprobleme von den Testmöglichkeiten des Herstellers:

> "*Ja, der arbeitet im Dauerbetrieb, und das ist nicht so ein 08/15-Anwender, der macht nicht so Fräsoperationen, wie wir sie hier machen. Wir machen im Prinzip ein ganz normales Programm, nichts Besonderes. Das ist ein Pilotanwender, der ganz schwierige Werkstücke macht, also Dinge, die auch große Kunden von uns nicht hinkriegen. Das sind Prototypen für VW, oder komplexe und komplizierte Teile, der hat so ziemlich das gesamte Spektrum zu bearbeiten, das es auf dem Markt gibt. Und da kann es schon mal bei irgendwelchen Dingen ein Problem geben, da kämen wir nie drauf, weil wir eine solche Fertigung gar nicht machen bei uns.*" (I, Geschäftsleitung: 1/57)

Die Rückmeldungen aus den Pilotanwendungen unterliegen wiederum unternehmensinternen Selektionen, denn nicht alles was verwendungstechnisch interessant ist, wird auch übernommen (beispielsweise weil es eigene Konstruktionsmöglichkeiten nicht zulassen oder weil es zu teuer wäre):

---

15 "*Es sind ja immer Kunden da, die uns sehr zugetan sind, da gibt es halt Kunden, die machen für uns auch schon mal Versuche und dergleichen.*" (I, Konstrukteur: 1/42)

> *"Er (der Pilotanwender, U.K.) ist natürlich auch ein Pfiffikus, das ist wirklich ein technologisch sehr versierter Mensch, und er hat natürlich auch so Anregungen ... Ob man die nun alle so nachvollziehen muß, ist noch eine zweite Frage, es ist vielleicht wünschenswert, aber nicht unbedingt zwingend, man muß da schon ein bißchen selektieren."* (I, Geschäftsleitung: 1/54)

Schon hier soll festgestellt werden, daß die Rückmeldungen an den Grenzstellen der Organisation und die Frage *wie* selektiert wird eine Achillesferse der vertrauensbasierten Kooperation bilden. Netzwerkstrukturen emergieren akteurabhängig und deshalb sind die Rückkopplungen von Netzwerkerfahrungen in die jeweilige Organisation von hoher Bedeutung. Organisationsinterne Kommunikations- und Kooperationsprozesse entscheiden darüber, was gelernt werden kann, welche Informationen zu Organisationswissen werden und was verlernt werden muß, um weiter innovativ zu sein.

Wie schon herausgestellt, kann das Unternehmen I auf eine traditionsreiche Zusammenarbeit mit verschiedenen Anwendern zurückblicken. Einer dieser Anwender (I_3) - ein Unternehmen der Automobilindustrie -, der schon verschiedene Innovationsprojekte mit dem Technikhersteller bestritten hat und über eine - auch durch persönliche Kontakte untermauerte - erfolgreiche Vergangenheit mit dem Hersteller berichtete, hatte die Absicht, die Durchlaufzeiten einer Bettfräsmaschine drastisch zu reduzieren. Dazu sollte der Drehzahlbereich einer Bettfräsmaschine fast verdoppelt werden. Wichtig ist hier, daß der Werkzeug- und Formenbau keine großen Stückzahlen herstellt; die technologischen Anforderungen an die Maschinen sind deshalb auch nicht mit der Serienproduktion zu vergleichen.

Das Beschaffungsmuster im Werkzeug- und Formenbau (WFB) des Unternehmens I_3 läßt sich in folgender Weise charakterisieren: Der Bedarfsfeststellung durch den Leiter des WFBs (*Betreiber*) folgen die Aktivitäten des Technischen Einkaufs (*Beschaffer*). Die Betreiber sind vergleichbar mit einer Produktions- bzw. Hallenleitung[16]; Der Betreiber führt die allgemeine Entscheidung über eine Neuinvestition durch, legt dann in enger Kooperation mit den Beschaffern die Technologiestrategie fest, wobei aus dem Werkstattbereich auch Bedarfe angemeldet werden können, und er startet wiederum in enger Kooperation mit den Beschaffern eine erste Marktanalyse. Beschaffer und Betreiber suchen dann nach geeigneten Technikherstellern. In der Regel läßt sich der Konzern

---

16 Die Hierarchie läßt sich folgendermaßen beschreiben: Für jede Halle (Werkzeugbau, Stanzwerk, Preßwerk, Rohbau, etc.) ist ein Betreiber zuständig. Ihm stehen der Werksleiter und die Konzernleitung vor.

dann vier bis fünf Angebote erstellen. Diese Angebote werden verglichen und mit jeweils detaillierteren Nachfragen und Vergleichen schrittweise entschieden. Bei komplexeren Investitionsvorhaben werden Projektteams eingesetzt. Eine andere Variante sind gemeinsam durchgeführte SE-Projekte mit Lieferanten. Insgesamt spielen hier vorgängige Erfahrungen mit Zulieferern (*Reputation*), die in konzerneigene Lieferantenbeurteilungen einfließen, eine große Rolle.

Im untersuchten Innovationsfall hatte der Betreiber die Entscheidung getroffen, zwei neue Bettfräsmaschinen mit schwenkbaren Fräsköpfen anzuschaffen, die mit einem Digitalisierungssystem ausgestattet sind und kürzere Bearbeitungszeiten für die Werkzeuge und Formen aufweisen. Die Maschinen sollten in einer Fertigungseinheit zusammengefaßt werden und möglichst im Drei-Schichtbetrieb laufen. Gedacht war an eine mannlose Schicht, in der Rohlinge mit einfachen Bearbeitungsprogrammen bearbeitet werden sollten. Kompliziertere Bearbeitungsprogramme verlangen regelmäßige Programmkorrekturen und sind von daher nur in Anwesenheit von Facharbeitern zu bearbeiten. Insgesamt sollten drei Facharbeiter an den zwei neuen Maschinen tätig sein.

In der ersten Auswahlrunde stand das untersuchte Unternehmen I drei weiteren Anbietern gegenüber. Zwar spielten auch Preise eine gewisse Rolle, doch ausschlaggebend waren das Vertrauen zum Hersteller I - der sich in der Vergangenheit mit erfolgreichen Lösungen eine entsprechende Reputation beim Technikverwender I_3 aufgebaut hatte - und die zugesagte technische Leistungsfähigkeit seiner Maschinen[17]: Um die Durchlaufzeiten zu verringern, benötigte man eine Bettfräsmaschine mit besonders hohen Drehzahlen. Da zum damaligen Zeitpunkt (1990) nur das Unternehmen I eine Bettfräsmaschine mit einem Drehzahlbereich von 6.000 Umdrehungen anbot, war die Entscheidung primär von diesen Leistungszahlen abhängig. Die Maschine gab es zu dem Zeitpunkt allerdings noch nicht, sie

> *"gab es nur in der Entwicklung und I hatte zugesagt, die 6.000 Umdrehungen einhalten zu können ... das haben die anderen nicht geboten."* (I_3, Einrichtungstechniker S: 4)

Als ein wichtiger Punkt sollte sich erweisen, daß diese Anforderung einen Entwicklungssprung erforderte, der nicht den bislang üblichen inkrementalen Verbesserungen

---

17 *"Der Kaufpreis war sicher nicht der Punkt und allein von den Prospektdaten wird bei uns nichts gekauft."* (I_3, Technischer Einkäufer K: 3)

und Modifikationen vorhandener Technik im Unternehmen I entsprach. Doch die Marktlage und der mit dieser Innovation in Aussicht stehende weitere Reputationsgewinn führten im Unternehmen I zu einer Zusage, d.h. zu der Bereitschaft sich auf das Risiko einer umfassenden Neuentwicklung einzulassen. Die Promotoren waren die Geschäftsleitung und der Verkaufsleiter des Unternehmens. Der Technikanwender entschied sich - u.a. aufgrund der erfolgreichen Kooperation in der Vergangenheit - für die Zusammenarbeit mit dem Hersteller I.[18]

Das Management des Technikherstellers hatte sich persönlich für eine erfolgreiche Innovation verbürgt und zur Zielerreichung einen gerade diplomierten Ingenieur eingestellt. Genau dies erwies sich aber als äußerst nachteilig für den Innovationsverlauf: Dem inkrementalen, erfahrungsbasiertem Innovationsstil des Herstellers I setzte der Ingenieur eine eher theoretisch-wissenschaftliche Entwicklungskonzeption entgegen, die zwar *theoretisch* richtig war, aber später in der Praxis nicht funktionierte.

Der im Unternehmen I mit der Entwicklung und Konstruktion der Maschine beauftragte Hochschulabsolvent hatte selbst nicht an den Gesprächen teilgenommen, kannte also nur die explizierten Technologieanforderungen und versuchte sie *theoretisch* zu lösen. Unbeachtet blieb dabei, daß gerade eine so weitreichende Innovation auf die intensive zwischenbetriebliche Kooperation zwischen Hersteller und Verwender, innerbetriebliche Kooperation zwischen der Konstruktion, Fertigung und Montage und spezifisches betriebliches Know-how angewiesen ist. Ein anderer Pilotanwender, der etwa zeitgleich ebenfalls Interesse an dieser Innovation hatte, hatte schon zu einem frühen Zeitpunkt auf solche Probleme hingewiesen:

> *"Diese Maschine ist natürlich von einem Jungingenieur entwickelt worden ... Natürlich darf auch ein Ingenieur, der gerade fertig geworden ist, sagen wir mal viel studiert hat, weniger von der Praxis wissen. Er muß eben den Mut haben, auch mal von erfahrenen Meistern oder Vorarbeitern einen Rat zu bekommen: 'Komm, mach das so, das ist besser.' Ich habe aber den Eindruck, daß er diese Probleme nicht lösen kann, daß irgend etwas dann gemacht wird, was falsch ist. Das habe ich der Geschäftsleitung schon gesagt, daß sie da was machen muß."* (I_2, Inhaber: 11f.)

Interessant ist, daß dieser Anwender zwar auch das Problem sieht, daß ein Konstrukteur

---

18 Die Bedeutung zurückliegender guter Erfahrungen mit einem Technikhersteller wird allgemein in den Innovationsfallstudien bestätigt. Stellvertretend für andere Beispiele steht die Aussage: *"Wenn die Firma nicht schon einige Maschinen hier im Hause gehabt hätte, wäre sie wahrscheinlich nicht mit in das Konzert aufgenommen worden."* (I_1, Instandhaltungsleiter: 7)

ohne praktische Erfahrungen mit einem weitreichenden Innovationsfall beauftragt worden ist, daß er dahinter aber ein Problem der Organisation dieses Innovationsprozesses sieht, das im Kompetenzbereich des Managements liegt.

Instruktiv dafür ist, sich zu vergegenwärtigen, daß eine kundenspezifische Innovation erfordert, sich sehr viel mit den Kunden zu beschäftigen, andererseits aber dadurch der Organisation *Transaktionskosten* entstehen. Hier sind potentielle Abteilungskonflikte vorprogrammiert, denn einerseits muß wegen der Konkurrenz sehr rationell produziert werden (*Produktionsökonomie*), andererseits muß sehr viel Wert auf Service und Kundenfreundlichkeit gelegt werden (*Marktökonomie*). Für den Betriebsleiter bedeutet dies, die unterschiedlichen Anforderungen an eine rationelle Organisation des Fertigungsprozesses einerseits und die kundenspezifischen Erwartungen andererseits auszubalancieren. Im Unternehmen I bestand die inkrementale Lösung in der *anarchischen* Regulation dieser unterschiedlicher Anforderungen.[19] Diese Improvisationen beginnen beispielsweise, wenn vom Verkauf Zusagen gemacht werden, die in der Fertigung nicht unmittelbar realisiert werden können, sei es in bezug auf die Termintreue oder die vereinbarte Qualität:

> "*Dann werden Zusagen gemacht, die vielleicht gehalten werden können oder vielleicht auch nicht. Die Maschine bauen ist eine Sache, die in die Toleranz zu bringen, ist die zweite Sache.*" (I, Betriebsleiter$_1$: 8)

Die ersten Gespräche zwischen dem Technikanwender und dem Unternehmen I gab es Mitte 1990, ein Angebot erfolgte im September 1990, die Bestellung im April 1991. Die wichtigste Vertragsvereinbarung bezog sich auf die Spindeldrehzahl, die stufenlos zwischen 30 und 6.000 Umdrehungen pro Minute einstellbar sein sollte. Darüber hinaus wurden eine Vielzahl technischer Details vertraglich festgelegt. Geliefert wurden die Maschinen zum vereinbarten Lieferzeitpunkt im Februar 1992. Der Technikhersteller führte eine einwöchige Schulung beim Anwender durch. Eine Vorabnahme beim Unternehmen I gab es nicht, so daß die erste Inbetriebnahme beim Technikanwender I_3 stattfand. Im Werkzeug- und Formenbau des Technikanwenders vertraute man zu diesem Zeitpunkt darauf, "*daß die bestimmt im Unternehmen I die Maschine schon mal laufen*

---

19 "*Und dann gibt man irgendwo das Planungssteuern auf und fängt das Improvisieren an.*" (I, Betriebsleiter$_1$: 10)

gelassen haben." (I_3, Einrichtungstechniker S: 6) So gab es auch Meßprotokolle, die darauf schließen ließen.

Die Maschine wurde vom Unternehmen I im Februar 1992 komplett aufgestellt, nun kam es zu ersten Funktionstests. Zuerst gab es eine geometrische Abnahme, d.h. es wurde die gesamte Geometrie der Maschine nach einem Protokoll vermessen, dann wurden die Genauigkeitswerte getestet. Anwesend waren die Monteure des Unternehmens I, Herr S., der die Einrichtungstechnik vertrat, und die Meister und Facharbeiter aus dem Werkzeugbau. Neben der geometrischen Abnahme wurde dann noch ein NAS-Teil[20] bearbeitet, d.h. eine dynamische Kontrolle der Maschinenfunktion durchgeführt. Für den Technischen Einkäufer war diese Inbetriebnahme allerdings nicht besonders bedeutsam; der wichtigste Punkt für ihn war die Endabnahme, d.h. "*ein mehrwöchiger störungsfreier Betrieb der Anlage*" (I_3, Technischer Einkäufer: 9), der je nach Beschaffungsfall nach drei Wochen bis sechs Monaten nachgewiesen werden kann. Während der Inbetriebnahme stellten sich keine wesentlichen Mängel der Maschine heraus. Die Inbetriebnahme verlief relativ gut, ebenso die Einweisung der Mitarbeiter. Größere Probleme entstanden erst, als die Maschinen produktiv genutzt wurden.

Obwohl innerbetriebliche Kontrolluntersuchungen beim Technikhersteller und auch die erste Inbetriebnahme beim Technikanwender keine Hinweise auf Funktions- oder Leistungsmängel ergaben, wurden solche Mängel in der betrieblichen Dauernutzung direkt offenbar. Dies muß als ein deutliches Indiz dafür gewertet werden, daß sich entsprechend der These der *experimentellen Implementation* die Funktionstüchtigkeit und Nutzungsbreite einer Maschine erst im betrieblichen Dauertest herausstellt, also auch die Innovationsorganisation diesen Zeitraum mit zu berücksichtigen hat. In diesem Fall kommt hinzu, daß der Technikhersteller keine Erfahrungen mit den Maschinen hatte, da es sich hier um die erste gebaute Maschine eines neuen Typs handelte.

Gerade einer der kontraktentscheidenden Parameter - die hohe Drehzahl -, bei dem es sich um eine Marktneuheit handelte, konnte von Beginn an nicht realisiert werden:

---

20 NAS = National Administration Standard, ein amerikanischer Test aus der Flugzeugbauindustrie, der der VDI Richtlinie 2451 zugrunde liegt. Das NAS-Teil ist für dreidimensionales Fräsen ausgelegt und hat insofern den Nachteil, daß keine Freiformflächen bewertet werden können.

> *"Zwar haben wir den hohen Drehzahlbereich gehabt, doch Unternehmen I hat damals schon gesagt, daß wir nicht höher als 4.000 Umdrehungen fahren sollen und so sind wir auch nicht höher als 4.000 Umdrehungen gefahren. Die Probleme waren dann eigentlich schon bei 4.000 Umdrehungen da."* (I_3, Einrichtungstechniker S: 12)

Mit dem weiteren Betrieb der Maschinen traten eine Reihe zusätzlicher Probleme auf, doch sie wurden letztlich immer wieder auf die Probleme mit der hohen Drehzahl zurückgeführt. So gab es nach der Inbetriebnahme beim Anwender immer wieder Störungen: Antriebsprobleme, Qualitätsprobleme und Probleme mit dem Fräskopf. Diese Probleme zogen sich über eineinhalb Jahre hin, verschiedene Komponenten wurden überarbeitet, die Getriebeeinheit mußte vollständig ausgetauscht werden, ebenso ein Hydraulikaggregat, die vereinbarte Umdrehungsgeschwindigkeit schließlich konnte immer nur kurzfristig erreicht werden, nicht aber im betrieblichen Dauereinsatz.

Die Rekonstruktion der Vorabnahme und Inbetriebnahme verweist deutlich darauf, daß Fehlerquellen und Mängel einer Technik im gesamten Innovations- und Implementationsprozeß auftreten können. Geometrieabnahmen und technische Funktionstests funktionieren hier als *Quasi-Hypothesen*, deren erfolgreiche Überprüfung aber noch keine stabilen Gesamtprozesse garantiert. Die *Tests* funktionieren eher im Sinne einer *Negativhypothese*, nicht aber im Sinne einer positiv kausalen Vorhersage. Denn ob die Technik unter den Verwendungsbedingungen funktioniert oder nicht, ergibt sich letztlich erst unter diesen Verwendungsbedingungen. So werden die alltäglichen Betriebsbedingungen zum *Dauertest* der Technik, der Verwendungskontext wird zum *Labor*. Erst wenn das Leistungsspektrum einer Maschine vollständig ausgeschöpft wird und die unterschiedlichen Bearbeitungsprobleme praktisch abgearbeitet werden, wird das Wissen über die (praktische) Funktionsfähigkeit eines Entwurfs erzeugt.

Im vorliegenden Fall begann nun ein längerer Aushandlungsprozeß, in dem Verantwortlichkeiten geklärt und Probleme definiert und beseitigt werden mußten. Auf Seiten des Technikherstellers waren der Verkaufsleiter (zugleich verantwortlich für den Servicebereich), die Monteure und der Konstrukteur involviert; auf Seiten des Unternehmens I_3 der technische Leiter, der Werkstattmeister, die Instandhaltung und der Sachbearbeiter für die Fertigungstechnik. Hier ging es insbesondere um die Erzeugung einer gemeinsamen Situationsdefinition. Denn offensichtlich hatten die Geschäfts- und Verkaufsleitung des Unternehmens I riskante Zusagen gemacht (die 6.000 Umdrehungen) in der Hoffnung, daß diese technologisch machbar sind; der Technikverwender hingegen setzte auf die bisher vertrauensvolle Zusammenarbeit in zurückliegenden

Innovationsfällen und ging davon aus, daß die hohen Drehzahlen erreicht werden könnten und die Maschine nach der notwendigen Kontextualisierung im eigenen Unternehmen produktionsbereit sein würde.

Der Technikanwender war in der Situation, einen Mangel oder eine Fehlfunktion festzustellen und zu untersuchen. Er formuliert zunächst eine *Hypothese* über den möglichen Grund des Problems und meldet dies dem Technikhersteller. Dieser muß nun in einem Serviceeinsatz feststellen, inwieweit z.B. ein Bedienungsfehler Ursache des Problems ist oder ob ein technischer Mangel vorliegt. Das *Herstellen von Fakten* ist aber nicht immer einfach; es existieren verschiedene Fehlermöglichkeiten und -zuschreibungen, so daß häufig komplexe Aushandlungsprozesse notwendig werden:

> "*Die Achse läuft nicht, das kann viele Ursachen haben. Sie kann ausgestiegen sein, weil sie Überschwung hat, das Lager kann gefressen sein, der Motor kann kaputt sein, der Antrieb kann kaputt sein, das kann viele Ursachen haben. Also, wir untersuchen in dem Fall auch nicht bis in die Tiefe, sondern wir stellen das fest, schauen nach einer möglichen Ursache, fassen das zusammen und melden das dem Hersteller. Wenn der dann ins Haus kommt, sind wir dabei und schauen, was er macht, ob es eine Differenz gibt zu unserer Aussage. Wenn ja, suchen wir die Ursache.*" (I_1, Sachbearbeiter/Fertigungstechnik: 30)

Wenn die Servicetechniker des Herstellers anwesend sind, wird gemeinsam versucht, den Fehler zu rekonstruieren. Diese Rekonstruktion kann dadurch erschwert werden, daß der Lieferant des Technikherstellers mit hinzugezogen werden muß, denn die jeweiligen Zukaufteile können auch eine wichtige Rolle für den aufgetretenen Mangel spielen. Die *Herstellung von Fakten* wird dadurch nochmals erschwert, da sich nun der Technikverwender sowohl mit dem Technikhersteller als auch mit dessen Lieferanten konfrontiert sieht:

> "*Der Zulieferant verteidigt natürlich sein Produkt und sagt, 'Ja, mein Produkt ist in Ordnung. Nur in der Kombination mit dem und dem und dem ist dieser Fehler entstanden, möglicherweise.' Und so gibt das manchmal so eine Art Ping-Pong-Spiel, als ob die Bällchen hin und her spielen und erst wenn dann wieder die Phase erreicht ist, wo uns der Kragen platzt, dann kommen möglicherweise sogar alle an einen Tisch.*" (I_1, Instandhaltungsleiter: 31)

Strukturell handelt es sich dabei um eine Erweiterung des Innovationsnetzwerkes; zusätzliche Wissenspotentiale und Erfahrungen werden integriert, zugleich steigert sich die Komplexität des Managements von Unsicherheit und damit der Aufwand zur Problemlösung.

Mit den aufgetretenen Problemen begann in diesem Fall ein nicht antizipierter, mühseliger Prozeß der *Herstellung von Fakten* und ein inkrementaler Verbesserungsprozeß der Technik im Verwendungskontext - unter Zeitdruck. Der Technikhersteller mußte quasi-experimentell die Verbesserungsoptionen herausfinden. Ein Facharbeiter an der Maschine hatte festgestellt, daß eine der Achsen immer wieder absank, hatte aber dafür keine Erklärung. Deshalb wurden gemeinsame Versuche von Instandhaltungsarbeitern des Technikverwenders und den Servicetechnikern des Herstellers durchgeführt. Immer wieder kommt es dabei zu einer verdichteten technischen Kommunikation zwischen diesen Akteuren, die nun in einem gemeinsamen Lernprozeß Ursachenanalyse betreiben. In diesem Lernprozeß muß die Problemerkennung und -beseitigung erfolgen und die gefundene Lösung selbst wiederum erprobt werden. Die jeweils gewählten Problemlösungen verändern die Technik und stabilisieren für den Hersteller Erfahrungen, die in weiteren Innovationsfällen berücksichtigt werden. Die negativen und positiven Rückkopplungen darüber, ob die Technik funktioniert oder nicht, konditionieren die weitere technische Entwicklung. *Experimentelle* Technikimplementation ist in dieser Perspektive ein notwendiges Element der Technikgenese. Im vorliegenden Fall wurde bei einem zentralen Parameter, der Umdrehungsgeschwindigkeit, vom Technikhersteller das Risiko der Zielerreichung unterschätzt. Gleichzeitig war der Technikverwender über das technologische Risiko der Kooperation mit dem Unternehmen I nicht im Bilde. Er hatte nicht beachtet, daß für das weitreichende Innovationsvorhaben ein Wechsel des Innovationsstils des Technikherstellers erforderlich war und daß damit neue Kooperationsrisiken verbunden waren.

Wie vorhin (Abschnitt 3.1) zu sehen war, ergeben sich aus einer funktionierenden Netzwerkbeziehung Synergien für die Technikhersteller und -verwender. Gemeinsame Lernprozesse und die vertrauensbasierten Beziehungen tragen dazu bei, daß technologische und Marktunsicherheiten reduziert werden können. Was aber passiert, wenn ein Netzwerkpartner einseitig die Basis gemeinsamer Projekte verläßt, sei es durch Opportunismus, Vertrauensentzug oder Kompetenzverlust? Läßt sich ein Wechsel des Koordinationstypus beobachten? Wie verläuft die Konfliktregulierung und wie verändern sich die Akteurbeziehungen? Die Hypothese ist nun, daß die Leistungen der Netzwerkkooperation auch die Regulierung von Dissonanzen innerhalb der Kooperationsbeziehung konditionieren. Entgegen der Erwartung eines raschen Wechsels von der *voice*- zu einer *exit*-Option (Hirschman 1982), bleibt es auch im Falle von Irritatio-

nen und Belastungen der Kooperation zunächst bei der gemeinsamen Lösungssuche und Problembearbeitung.

Im nun weiter zu verfolgenden Innovationsfall verfügten mittlerweile (1992) auch andere Hersteller über eine Bettfräsmaschine mit der geforderten Umdrehungszahl von 6.000 Umdrehungen pro Minute. Der Verwender hätte dementsprechend auf der vertraglich fixierten Leistung bestehen, die Rücknahme der Maschine erzwingen und sogar eine Konventionalstrafe erwirken können. Deshalb stellt sich die Frage, warum der Technikverwender sich weiterhin kooperativ verhalten hat, warum er keine Rücknahme der Maschinen verlangte und den Rechtsweg nicht beschritt - und ob hier möglicherweise ein verallgemeinerungsfähiger Befund vorliegt. Immerhin existiert ein Produkthaftungsgesetz und darüber hinaus war auch der Vertrag so definiert, daß der Technikverwender seine Forderungen gegenüber dem Hersteller hätte durchsetzen können.

Im vorliegenden Fall verhinderten die bislang zufriedenstellende Beziehung, die gemeinsame Sprache, die man entwickelt hatte, und das wechselseitige persönliche Engagement in früheren Innovationsprojekten eine harte Vertragspolitik. In diesem Fall kam hinzu, daß der Technikhersteller weitgehend darauf verzichtete, die Fakten aufzuweichen. Es existierten von vornherein ein Problembewußtsein für die unzulängliche Technikkonstruktion und eine hohe Sensibilität für die Bedeutung dieser Hersteller-Anwender-Beziehung. Bei zurückgehenden Aufträgen (Konjunkturabschwung) einen wichtigen Kunden zu verlieren, wäre für das Kleinunternehmen I höchst problematisch, abgesehen davon würde eine Rückgabe der Maschinen verbunden mit einer Konventionalstrafe Kosten in Höhe von "*zwei Millionen*" (I, Konstrukteur) verursachen. Das Unternehmen I bemühte sich dementsprechend zwar um Lösungen, dennoch reichten aus der Sicht des Technikanwenders I_3 die Bemühungen nicht aus, um die Probleme effektiv zu lösen:

> "*Sie haben ja wirklich versucht, das zu lösen. Nur was ein ganz großer Nachteil meiner Meinung nach war, daß I das zu Beginn zu leicht genommen hat, die haben das Problem eigentlich zu wenig fest angepackt.*" (I_3, Einrichtungstechniker S: 12)[21]

An dieser Stelle soll nochmals die Frage diskutiert werden, inwieweit die internen Kommunikations- und Kooperationsprozesse im Unternehmen I eine problemadäquate Sicht

---

[21] "Leider haben sie die Zeichen der Zeit etwas spät erkannt." (I_3,Technischer Einkauf: 12)

begünstigt bzw. behindert haben. Inwieweit sind z.B. telefonische Störfallmeldungen über die aufgetretenen Probleme vom Verkauf zur Konstruktion gelangt (und nicht nur zu den Monteuren), inwieweit gab es Rückkopplungen von den Monteuren, die zum Serviceeinsatz beim Kunden waren, zur Konstruktion, zum Verkauf und zur Geschäftsleitung? Der Anwender stellt ein mangelhaftes innerbetriebliches Zusammenspiel zwischen den verschiedenen Akteuren des Herstellers fest:

> *"Die Monteure haben sich ja schon bemüht, die haben die auftretenden Probleme immer wieder repariert, und die haben die Problematik erkannt und das werden sie ja im Haus weitergegeben haben. Nur im Haus I wird man davon ausgegangen sein, daß das keine konstruktiven Mängel sind. Erst zu einem späteren Zeitpunkt ist man darauf gekommen, daß einfach an den Grundprinzipien einiges fehlt."* (I_3, Einrichtungstechniker S: 10)

Noch deutlicher wird der Facharbeiter der an der Maschine arbeitet. Er stellt organisationsinterne Meinungsverschiedenheiten beim Hersteller I heraus und weist auf die Schnittstellenprobleme zwischen den unmittelbar an der Problemlösung beteiligten Monteuren und dem verantwortlichen Verkaufsleiter des Herstellers I hin:

> *"Mit den Monteuren habe ich schon relativ offen gesprochen. Ja, die haben zwar nichts gesagt, aber man hat gemerkt, daß sie nicht ganz abgeneigt waren gegenüber unserer Meinung. Aber daß sie nichts Negatives über ihr Unternehmen sagen, ist auch klar, aber irgendwo hat man was gespürt. Wir haben ja auch mitbekommen, wenn die von uns hier mit Zuhause telefoniert haben; dann hat der Monteur die Probleme geschildert und der Verkäufer des Unternehmens I hat z.B. gesagt: 'Das muß anders machbar sein, das muß anders gehen' und wir haben da die Meinungsverschiedenheiten schon herausgehört. Der Monteur hat die Tatsachen, die Realität geschildert und der Verkaufsleiter hat es anders gesagt."* (I_3, Facharbeiter F: 9)

Es muß als eine besondere Konstellation im Betrieb I gelten, daß der ehemalige Betriebsleiter nunmehr Leiter des Verkaufs ist und en passant noch die rechte Hand der Geschäftsführung. Hieraus resultieren spezifische Kompetenz- und Entscheidungsprobleme. Von mehreren Interviewpartnern aus unterschiedlichen Funktionsgruppen im Unternehmen I wurde darauf hingewiesen, daß der Verkaufsleiter zuviel in den Betrieb *hineinregiert*. Das wird beispielhaft deutlich am Urteil eines Elektronikers:

> *"Herr S. ist ja Verkaufsleiter bei uns, aber der macht halt eigentlich immer noch alles. Der teilt die Leute ein, die Service machen, und ist dann auch noch insgeheim so ein verkappter Betriebsleiter geblieben, das kann man wahrscheinlich auch gar nicht ablegen."* (I, Elektromechaniker: 1)

Noch direkter bringt der Konstruktionsleiter des Unternehmens I das organisationsinterne Defizit - die Koordination von zwischenbetrieblicher Kooperation und die organisationsinterne Regulierung dieser Kooperation - auf den Punkt:

> *"Ein Hauptproblem ist die Struktur innerhalb des Betriebes, diese Hierarchie. ... Es müssen bestimmte Leute zu einem bestimmten Problem gehört werden, und das wird hier sehr oft übergangen. Und das ist ein Grundübel. ... Ja, es gibt einen Betriebsleiter, aber es gibt in gewisser Weise auch wieder keinen. Das ist das Problem. Das geht alles so, das ist wie aufgeweichte Butter, das zerläuft alles so in sich. Ja, und deshalb kann man auch nichts machen."* (I, Konstrukteur: 2/32)

Daß bei den herstellerinternen Kommunikationsprozessen häufiger Informationsverluste entstanden sind, zeigt auch eine Interviewpassage, die insbesondere nicht eingehaltene Terminabsprachen thematisiert:

> *"Mein größtes Ärgernis war eigentlich, daß die Versprechungen, daß die Monteure kommen und daß die Maschinen bis zu dem und dem Zeitpunkt wieder laufen, daß die in fast fahrlässiger Weise nicht eingehalten worden sind."* (I_3, Werkstattmeister E: 19)

Ein gut funktionierender Service des Technikerstellers ist für den Technikverwender sehr wichtig; erwartet wird hier, daß das interne Zusammenspiel zwischen Service, Verkauf und Konstruktion des Herstellers friktionsfrei läuft:

> *"Ja, für mich ist halt wichtig, daß sofort und schnell reagiert wird, wenn man merkt, daß etwas nicht so läuft und das ist ja spätestens dann, wenn der Monteur Freitagnachmittag seine Sachen packt und er irgendwann Montagmorgen einen Bericht abgibt, das ist halt das erste, und da ist für mich ganz eindeutig nicht offen gespielt worden. Also, entweder war es der Monteur gegenüber seinem Chef oder der Monteur hat ordnungsgemäß berichtet und die anderen haben halt gesagt 'Mal sehen, wie die reagieren.' Und das sollte vielleicht schneller und offener aus der Welt geschafft werden. Und es sollte nicht so lange gewartet werden, bis die Rückgabe der Maschinen angedroht wird. Das ist schon etwas, was man vermeiden sollte, ich möchte nicht immer mit den Juristen reden."* (I_3, Technischer Einkäufer K: 21)

Der Verwender hat in der Folgezeit "*mehrfach*" das Unternehmen I angesprochen, daß es die gesamte Getriebeeinheit zurücknehmen und im eigenen Hause auf einen neuen Stand bringen möge. Dieses Ansinnen wurde mit einem "*offiziellen kaufmännischen Verzugsschreiben*" aus dem Technischen Einkauf unterstützt, in dem auch das erste Mal eine "*Terminsetzung für März 1993 und ein Hinweis auf Rückgabe und Regreß*" (I_3, Technischer Einkäufer K: 22) enthalten war. Da dies mit erheblichen Kosten verbunden

gewesen wäre, bemühte sich das Unternehmen I, eine Schadensabwicklung unterhalb dieser Ebene zu realisieren. Ab diesem Zeitpunkt - der Drohung mit einer Regreßforderung - begann der Anwender, die jeweils nächsten Schritte zu definieren. So versuchte er Modalitäten, zu denen die Gehäuseeinheiten überarbeitet werden sollten, festzulegen.

Doch auch hier war noch keine befriedigende Lösung für den Anwender erreichbar, einerseits war die Überarbeitung der Getriebeeinheiten nicht unmittelbar erfolgreich, andererseits erreichten die in kompensatorischer Lohnarbeit gefertigten Teile nicht die internen Qualitätsansprüche des Verwenders. Diese Phase erstreckte sich über ein Jahr. In diesem Zeitraum wurden immer wieder neue Termine vereinbart und Gewährleistungsaufgaben des Technikherstellers durchgeführt; ein abschließender Erfolg stellte sich aber nicht ein. Immer wieder traten neue Probleme auf. Immer wieder wurden vom Anwender "*Anstöße gegeben, wie man die Probleme beseitigt.*" (I_3, Einrichtungstechniker S: 16)

> "*Es ist Hilfestellung auf allen Seiten dagewesen, aber irgendwo hat die Hilfestellung natürlich auch ein Ende, wo wir nicht mehr können. Also, wir verschenken nichts. Das kann man nicht, das dürfen wir nicht. Ich muß das ja auch intern vertreten können.*" (I_3, Technischer Einkäufer K: 18)

Ebenso wie die Monteure des Technikherstellers ihre eigenen Ansichten im Hinblick auf die Technik beim Technikanwender - wenn auch zurückhaltend - geäußert haben und sie die festgestellten Probleme und Mängel im eigenen Unternehmen wieder zurückmeldeten, verweist das obige Zitat darauf, daß die beteiligten Akteure auf Seiten des Technikanwenders einerseits in einer kooperativen Beziehung mit den beteiligten Akteuren des Technikherstellers stehen, sie andererseits aber auch der eigenen Organisation gegenüber verantwortlich sind.

Aus dem bisher rekonstruierten Fall ergibt sich eine weitere theoretische Schlußfolgerung: Offensichtlich entsteht in der zwischenbetrieblichen Kooperation eine emergente Struktur, eine Netzwerkbeziehung mit eigener Strukturqualität, in der die Bedingungen der rekursiven Technikentwicklung, der Problembearbeitung oder Störfallbeseitigung autonom definiert werden, andererseits bleiben die Akteure auf die jeweilig dahinterstehenden Organisationen (Hersteller- und Anwenderunternehmen) angewiesen, sind von deren Ressourcen abhängig und müssen ihre Aktivitäten gegenüber diesen Organisationen verantworten. Dies soll abschließend plausibilisiert werden.

Die bisher beschriebenen Aktivitäten zwischen dem Technikverwender und dem Herstellerunternehmen sind insgesamt der Garantiepflicht des Herstellers zuzuordnen. Alle Schritte der Abteilung Einrichtungstechnik im Werkzeug- und Formenbau des Anwenderunternehmens waren bislang mit dem Betreiber abgestimmt; immer wieder mußte sich der Sachbearbeiter - Herr S. - für die Einrichtungstechnik gegenüber dem Betreiber für seine Aktivitäten legitimieren. Diesen interessieren ausschließlich hohe Nutzungszeiten, geringe Störfälle und die vereinbarte Qualität. Herr S. vertrat diese Punkte natürlich auch, war aber insgesamt an einem "*weicherem Vorgehen*" (I_3, Einrichtungstechniker S: 2) orientiert, und benötigte intern "*erheblichen Argumentationsaufwand*" (I_3, Einrichtungstechniker S: 24) für sein Vorgehen. Schon zu einem früheren Zeitpunkt wären härtere Maßnahmen möglich gewesen. Der Einrichtungstechniker verfolgte aber das Ziel, möglichst kooperativ zu einem gemeinsamen Ergebnis zu kommen; die gewachsenen Beziehungen und die bislang erfolgreiche Zusammenarbeit erschwerten für ihn eine harte Vertragspolitik. Der technische Einkäufer beschreibt in diesem Zusammenhang seine Funktion sogar als Vermittlungsposition zwischen den Betreibern und dem Technikhersteller:

> "*Ich habe da wohl eine Schiedsrichterfunktion. Ich sehe die Bemühungen auf der einen Seite, die Technik zu einem vertragsgemäßen Gebrauch zu führen, und ich sehe aber auch, daß der Vertrag nicht erfüllt wäre, wenn das nicht klappt. Wir hätten fehlinvestiert. Aber ich bin momentan der Meinung, wenn weiter abgearbeitet wird und wir näher an den vertragsgemäßen Gebrauch herankommen, daß zumindest der Punkt 'Rückgabe der Maschinen' aus der Welt ist.*" (I_3, Technischer Einkäufer K: 23)

Die im Zitat angesprochene *Schiedsrichterfunktion* verweist deutlich auf die Grenzstelle zwischen dem Innovationsnetzwerk und der eigenen Organisation. Um solche Grenzstellenprobleme analytisch präzise zu beschreiben, sollten Innovationsnetzwerke als Emergenzphänome konzeptionalisiert werden, als eine emergente Strukturbildung innerhalb technikerzeugender und -verwendender Sozialsysteme (wobei gegebenenfalls technikregulierende Sozialsysteme inkludiert werden). Auch die nächste Interviewpassage weist diesen Zusammenhang aus. Der Technische Einkäufer - der von Anfang an am Innovationsfall beteiligt war - verdeutlicht, daß er bereit war, Zugeständnisse zu machen und dem Technikhersteller eine Chance zur Korrektur zu gewähren; dazu bedurfte es aber der organisationsinternen Absicherung:

> "*Ich versuche diese Chance für den Lieferanten durchzudrücken. Für mich ist das hier an dem Platz das Wichtigste. Das gehört bei solchen Anlagen zum Fair play dazu. Wenn ich jetzt die Maschinen zurückgebe - freilich könnte ich das sofort durchsetzen nach dem Vertrag, ich brauche bloß einen Spediteur anzurufen und am nächsten Tag stehen die Maschinen wieder beim Lieferanten und ich treibe das Geld ein, das ist überhaupt kein Thema - dann stehen die, na ja Sie können sich vorstellen, was mit einem Unternehmen dieser Größenordnung passiert, das ist ja nicht in unserem Sinne, wir versuchen ja auch zu helfen. Ich könnte mir eigentlich eine ruhige Haltung im Lehnstuhl vorbehalten und sagen 'Maschine zurück, alle Rechnungen dahin, Teile lasse ich beim Lieferanten xy fräsen und die Rechnungen dafür zum Lieferanten, abzüglich der ersparten Stromkosten bei uns' usw., ganz streng genommen.*" (I_3, Technischer Einkäufer K: 20)

Das Unternehmen I verstärkte in der folgenden Zeit seine Aktivitäten. Von seinem Hydraulik-Lieferanten besorgte es im Umtausch ein ganz neues Kühlaggregat und im Unternehmen selbst wurden gravierende konstruktive Veränderungen vorgenommen. Zwischenzeitlich trennte man sich von dem verantwortlichen Konstrukteur und der Leiter der Konstruktion - Herr J. -, widmete sich persönlich der Aufgabe, "*die Maschinen zum Laufen zu bringen.*" (I_3, Einrichtungstechniker S: 4) Das Management des drohenden Scheiterns wurde innerorganisatorisch konzentriert. Von nun an liefen alle telefonischen Kontakte über den Leiter der Konstruktion und nicht mehr über den Verkauf. Seiner Ansicht nach hätte diese Maschine in ihrem damaligen Zustand nicht ausgeliefert werden sollen. Die Konstruktion hatte nun erhebliche konstruktive Veränderungen durchzuführen. Herr J. äußerte nicht nur Kritik an seinen damaligen Kollegen aus der Konstruktionsabteilung, den er als "*zu theoretisch*" (I, Konstrukteur: 3/2) bezeichnete, sondern mindestens ebensosehr an der Marketingabteilung des eigenen Unternehmens, die diese Maschinen zugesagt hatte, ohne zu prüfen, inwieweit die Umsetzung der Innovationsanforderungen den betrieblichen Kompetenzen entsprach. Darüber hinaus sieht Herr J. aber auch ein Problem innerhalb der Geschäftsführung, da sie die Entscheidung gebilligt hatte. Nun habe zwar der damalige Konstrukteur ein Maschinenkonzept entwickelt, daß in seinen geforderten Leistungsspektrum unterdimensioniert war, doch die Hauptverantwortung sieht er

> "*eindeutig bei der Geschäftsleitung. So etwas hatten wir bis dahin noch nicht gemacht, wir hatten damit überhaupt keine Erfahrungen. Bis zu dieser Entwicklung hatten wir in einem Bereich von ca. 4.000 Umdrehungen gearbeitet und bei diesem Typ wurden 6.000 Umdrehungen gefordert, das war einfach außerhalb unseres Erfahrungsbereichs.*" (I, Konstrukteur: 3/3)

Das aktuell zu bewältigende Problem bestand nun darin, die zurückgeorderte Gehäuseeinheit so zu überarbeiten, daß die vertraglich fixierten und nun offiziell angemahnten Leistungsdaten erreicht werden können. Besonders problematisch ist daran, daß es ihm klar war, daß

> "*das gesamte Maschinenkonzept nicht paßt, die Auslegung der Maschine für die geforderte Leistung einfach zu klein ist. Eigentlich können wir da nur so herumbasteln.*" (I, Konstrukteur: 3/2)

Zwar ließen sich mechanische Probleme bis zu einem gewissen Punkt durch die Steuerung kompensieren (vgl. auch den Anwendungsfall I_4), doch neben dem Problem, daß "*das gesamte Konzept nicht paßte*", waren auch die Fertigungsbedingungen des Anwenders nicht zu simulieren, so daß "*wir keine Gewißheit haben, wie sich die Maschine unter normalen Betriebsbedingungen verhält.*" (Ebd.) Weder war die Fertigungspalette des Anwenders verfügbar noch reichte die Zeit, um die überarbeitete Maschine den unterschiedlichen Belastungen im Dauertest auszusetzen.

Zum Zeitpunkt der letzten Interviews im Unternehmen I_3 war der gesetzte Termin bereits abgelaufen, die Mängel an einer von den zwei beanstandeten Maschinen aber beseitigt. Die Reparatur der zweiten Maschine wurde auf Wunsch des Technikverwenders verschoben. Zu diesem Zeitpunkt schienen mindestens die konstruktiven Probleme beseitigt, wenn auch immer noch technische Mängel feststellbar waren:

> "*Das ist jetzt meine persönliche Meinung, daß da beim Zusammenbau keine konstruktiven Probleme mehr vorgelegen haben, ich will auch nicht sagen ein Montagefehler, es kann einfach sein, daß gewisse Mängel sich bei einer Re-Montage einschleichen, und die müssen jetzt noch beseitigt werden. Die Probleme mit dem Antrieb, mit dem Fräskopf und den hohen Temperaturen, die sind beseitigt. Die Qualität wird auch erreicht, da gibt's keine Probleme momentan. Mit der anderen Maschine können wir im Moment natürlich nur Drehzahl 3.000 bis 4.000 fahren.*" (I_3, Einrichtungstechniker S: 20)

Trotz des zuletzt großen Engagements des Technikherstellers, die Probleme zu lösen, und trotz großen Entgegenkommens des Anwenders, dafür zunächst Verständnis und Zeit (Vertrauen) aufzubringen, ist ein Vertrauensverlust entstanden, der die Beziehung belastet. Das Versagen des Herstellers, den *großen Sprung* in der Drehzahlentwicklung durch einen Wechsel des Innovationsstils vom erfahrungsbasierten, inkrementalen Innovieren zu einem theoretisch-wissenschaftlich angeleiteten Innovationsstil betriebsintern zu organisieren, wurde hier zur Belastungsprobe für die gewachsene Netzwerkbe-

ziehung. *Kredit*, im Sinne von Vertrauen, wurde verbraucht und die Erkenntnis, daß Investitionen in Kooperationen riskant sein können, wurde auf beiden Seiten teuer bezahlt. Den Vorteilen einer gemeinsam geteilten Sprache, wechselseitigen Vertrauens und Rücksichtnahme stand nun gegenüber, daß beide Seiten ihre mit der Innovation angestrebten Ziele nicht erreicht haben, die *exit-option* aber aufgrund der gewachsenen Beziehungen nicht gewählt wurde. Vertrauen wurde in diesem Fall zu einer *Innovationsbarriere*, anders gesagt: auch vertrauensbasierte Kooperation entgeht nicht möglichen "*lock in*"-Effekten. Die mit dem Innovationsvorhaben anvisierten Technologieziele des Herstellers wurden verfehlt, ebenso die fertigungstechnischen Prozeßziele des Technikverwenders. Da der Anwender aber über genügend Kapitalmittel verfügte, konnte er an seinen Prozeßzielen festhalten und die - nicht zufriedenstellenden - Erfahrungen im Sinne einer negativen Heuristik weiterverwenden. Der Hersteller hingegen geriet durch dieses Projekt im Zusammenhang mit allgemeiner Nachfrageabschwächung, aber auch mit Problemen seines Innovationsmanagements an den Rand eines Konkurses.

Abschließend stellt sich die Frage welche Auswirkungen dieser belastende Innovationsfall aus der Sicht des Verwenders für die weitere Kooperation mit dem Unternehmen I hat. Darauf angesprochen, wie sich dieser Fall auf die weiteren Geschäftsbeziehungen auswirken würde, antwortete Herr S. (Einrichtungstechniker):

> "*Ich persönlich kann mir schon eine weitere Zusammenarbeit mit dem Unternehmen I vorstellen, aber ich kann mir nicht vorstellen, daß der Betreiber noch sehr viel Interesse daran hat. Also, die Eindrücke sind schon sehr negativ. Aber ich kann Ihnen sagen, daß die Erfahrungen mit den anderen nicht viel besser sind.*" (I_3, Einrichtungstechniker S: 21)

Obwohl im vorliegenden Fall Vertrauen aufgebraucht wurde und die Bereitschaft des Herstellers, "*etwas zu tun*", relativ spät deutlich wurde, will aber auch der Betreiber nicht ausschließen, daß nochmals Geschäfte mit diesem Unternehmen gemacht werden:

> "*Dann müßte ich einen Anbieter ausschließen. Und wenn man sich von vorne herein jemanden ausschließt, verpasse ich ja eventuell irgendwelche Vorteile. Also, so hart ist das nicht.*" (I_3, Leiter V: 4)

Noch einen Schritt weiter geht der technische Einkäufer. Er sieht - trotz der massiven Probleme - auch einen positiven Effekt, der explizit auf den gemeinsamen Erfahrungen beruht:

"*Wenn das jetzt so zum Laufen kommt, wenn wir die vertragsgemäße Leistung haben, dann könnte es durchaus sein, daß es neben dem Negativen, sprich viel Arbeit, Ungewißheit, Unruhe, auch einen positiven Effekt gibt, daß man einfach sagt: 'Wenn wir wieder etwas Neues brauchen, von denen wissen wir, die ziehen mit, die machen das, die haben das Know-how oder die Leute', das könnte durchaus sein.*" (I_3, Technischer Einkäufer K: 8)

3.3 Zusammenfassung

Netzwerkartige Beziehungen zwischen dem Hersteller und Anwender ermöglichen wechselseitige Vorteile, die durch reine Marktbeziehungen nicht zu erzielen sind. Das können Kosten-, Know-how- und Wettbewerbsvorteile sein.

Während der Serienhersteller die Möglichkeit einer seriellen Produktion von Prototypen für unterschiedliche Verwendungskontexte (*Dekontextualisierung*) erprobt, also an der Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit der Aggregate, Komponenten usw., im Fertigungsprozeß interessiert ist, testet der Anwender die mit der neuen Technik verbundene Möglichkeit der fertigungstechnischen Prozeßoptimierung. Der Technikanwender ist vor allem an Informationen über die Gebrauchswerteigenschaften von neuen Produktionstechniken interessiert, die seinen spezifischen Anforderungen entsprechen. Anders gesagt: Der Hersteller testet und optimiert durch die *Pilotanwendung* sein Produkt, der Anwender optimiert mit Hilfe des Produkts hingegen seinen Produktionsprozeß. Diese Differenz erfordert ein Vorgehen, das gemeinsame Aushandlungsprozesse möglich macht und Synergien unterstützt.

Der Aufbau eines Innovationsnetzwerkes im Segment der Serienfertigung hat folgende Struktur: Zunächst erfolgt die *Konstruktion eines repräsentativen Verwendungskontextes* durch den Hersteller; dieser *Konstruktion* folgen intensive Gespräche mit versierten Verwendern, wobei u.a. die Breite der Testmöglichkeiten für die beabsichtigte Maschine, die Produktpalette und das Qualifikationsniveau der Fachkräfte der Verwender, sowie die Bereitschaft zum Know-how-Transfer und der Know-how-Schutz wichtige Entscheidungskriterien darstellen. Aus der Sicht des Pilotanwenders stellen fertigungstechnische Konkurrenzvorteile aber auch eigene Innovationsziele wichtige Gründe für die Kooperation dar.

Der Sondermaschinenhersteller ist aus Gründen der *Kontextualisierung* einer Technik auf netzwerkartige Beziehungen zum Anwender angewiesen. Zwar sind für diese nicht die anonymen Märkte und die Verallgemeinerung technischer Entwicklungsperspektiven das Problem, wohl aber die kontextspezifischen Funktionseigenschaften

einer Technik, die intensive Kooperationen erfordern. Der Anwender ist an einer spezifisch lokalen Lösung eines Problems interessiert, die über reine *Prospektangebote* nicht zu finden wäre. Der Strukturaufbau eines Innovationsnetzwerkes erfolgt über die präkontraktuelle Phase. In dieser Phase verhandeln verschiedene Sondermaschinenhersteller mit einem Anwender über unterschiedliche lokale Lösungen, wobei der Verwender die jeweiligen Angebote eines Herstellers nutzt zur Definition von Randbedingungen für die Mitkonkurrenten. Diese wiederum variieren unterschiedliche Lösungsvorschläge um das eigene Angebot zu optimieren. Schrittweise werden in diesen Aushandlungsprozessen die Anfangsbedingungen für ein gemeinsames Innovationsprojekt in einem Netzwerk generiert. Neben der Reputation eines Unternehmens, spielt der Vertrauensaufbau über Technologieaustausch und Erwartungsbildung eine zentrale Rolle.

Austausch- und Informationsprozesse in Netzwerken werden also weder durch vereinzelten, gleichsam abrechenbaren Tausch noch durch administrativen Beschluß vollzogen, sondern durch Vertrauensbeziehungen, in denen die Partner auf Vorzugsbehandlung und Hilfestellungen rechnen können.

Weder Marktkriterien noch Anweisungsprinzipien von hierarchischen Organisationen, sondern die wechselseitige Abhängigkeit von den Ressourcen, die der jeweils andere kontrolliert, sind maßgeblich. Während in Märkten die Koordination von Herstellern und Nutzern spontan und zufällig erfolgt und in Organisationen klassischen Typs formal-bürokratische Koordinationsformen bevorzugt werden, nutzen Netzwerke relationale, diskursive Formen der Handlungskoordination von wechselseitigen Interessen mit dem Ziel, eine gemeinsame Orientierung und Sprache zu finden. Den linearen, sequentiellen und phasierten Innovationsprozessen setzen Innovationsnetzwerke rekursive dynamische Strukturen entgegen, die die Innovativität auf Dauer stellen und permanent einfordern. Innovationsnetzwerke sind so eine institutionalisierte Struktur für zirkuläre, rückgekoppelte Prozesse, sie können Entwicklung und Verwendung neuer Produkte - z.B. in SE-Verfahren - synchronisieren.

Diesen wechselseitigen Vorteilen der engen Hersteller-Anwender-Interaktion in Innovationsnetzwerken stehen aber auch potentielle Nachteile gegenüber, die z.B. durch Veränderungen in der Akteurkonstellation, Entstehen von Kommunikationsbarrieren, Unzuverlässigkeiten eines Partners, Kompetenzverluste oder mangelnde Kenntnisnahme von Konkurrenten verursacht werden können: Netzwerke können altern, d.h. es besteht die Gefahr konservativer Strukturierung (*lock-in*-Effekt).

Allgemein läßt feststellen: Die Technikentwicklung verlangt zunehmend betriebsadäquate, d.h. lokale Problemspezifikationen, umgekehrt impliziert die Entscheidung eines Anwenders für eine komplexe Technisierungsmaßnahme dauerhafte Aushandlungsprozesse mit dem Technikhersteller. Die Komplexität technischer Artefakte, ihre Kapital- und Entwicklungsintensität und ihre hohe Spezifität, erfordert zumindest partiell die Überführung anonymer Marktkräfte in Kooperationspartnerschaften.

Netzwerke werden durch rekursive Prozesse hervorgerufen und stabilisiert. Innovationen sind abhängig von Rückkopplungsprozessen zwischen Herstellungs- und Verwendungskontexten, zwischen empirisch-praktischen und konstruktiv-abstrakten Erfahrungs- und Wissensbeständen. Durch diese zirkulären Prozesse emergieren formelle oder informelle Strukturen, die die Wissenstransfer- und Austauschprozesse zwischen den beteiligten Akteuren und Organisationen erleichtern.

V. Innovationsnetzwerke: Ein Modell der Technikgenese

1. Einleitung

Vor dem Hintergrund aktueller techniksoziologischer und innovationstheoretischer Arbeiten werden nun die vorgestellten Befunde zu einem Modell der Technikgenese verdichtet.[1] Ein solches Vorhaben ist allein auf der Basis der ausgewerteten Innovationsfallstudien sicher nur ungenügend realisierbar: anstelle einer Generalisierung auf der Basis des empirischen Materials steht deshalb die Erweiterung und Präzisierung der anfangs diskutierten Modelle zum technischen Wandel im Vordergrund. Intendiert ist die Formulierung eines Basismodells der Technikgenese zur Generierung weiterer Hypothesen für zukünftige Forschung.

Es wird vorgeschlagen, den technischen Wandel als einen Prozeß der rückgekoppelten dynamischen Strukturbildung in organisationalen Feldern (Technikhersteller, Nutzer, Zulieferer und institutionelle Kontextbildner wie wissenschaftliche Institute, Normungsausschüsse, Fachvereinigungen, etc.) zu verstehen. Die empirischen Analysen stellten Informationsaustausch- und Informationsgewinnungsprozesse, vertrauensbasierte Kooperationen, reziproke Praktiken und wechselseitige Lern- und Limitierungsprozesse zwischen Herstellern und Verwendern neuer Technik heraus. Zusammen bilden diese Dimensionen einen zentralen evolutionären Mechanismus des technischen Wandels. Dieser Mechanismus - so wird hier argumentiert - ist prozedural selbstorganisierend und struktural netzwerkförmig. Netzwerke ermöglichen rekursive Schließung bei informationaler Offenheit. Die Institutionalisierung gemeinsamer Gestaltungsleistungen und Lernprozesse innerhalb der technikerzeugenden, -verwendenden und -regulierenden Sozialsysteme wird im folgenden mit dem Begriff *Innovationsnetzwerke* präzisiert.

Im ersten Abschnitt werden in knapper Form einige Quellen der netzwerktheoretischen Diskussion resümiert. Aufgrund der erstaunlichen Karriere des Netzwerkbegriffs und der sehr heterogenen Verwendung erfolgt hier eine Zuspitzung bzw. Beschränkung auf Kooperationsformen, bei denen technische Innovationen zentral sind. Auch gilt es, um den strukturbildenden zwischenbetrieblichen Vernetzungen im Innovationsprozeß auf die Spur zu kommen, Netzwerke kategorial aus der zu engen Klammer der

---

[1] Zentrale Überlegungen zu einem solchen Modell finden sich in Kowol, Krohn (1995; 1997).

ökonomischen Analyse herauszulösen, denn sie verhindert zu erfassen, worauf der soziale Bestand dieser Netzwerke beruht und worin ihre Schlüsselfunktion im Prozeß technischer Innovation besteht. Allerdings können die diesen Arbeiten zugrundeliegenden Fragen nach den innovationsrelevanten Informations-, Such- und Austauschkosten im Innovationsprozeß als basales Problem doppelter Kontingenz reformuliert werden und damit einer genaueren soziologischen Betrachtung - um die es hier gehen soll - zugeführt werden. Als zentrales Ausgangsproblem von Innovationsprozessen werden verschiedene Formen von Unsicherheit herausgestellt.

Das Problem doppelter Kontingenz im Innovationsprozeß stellt den Ausgangspunkt des zweiten Abschnitts dar. Hier wird nun der soziologische Begriff des Vertrauens als der zentrale Mechanismus zum Aufbau eines Innovationsnetzwerkes eingeführt und argumentiert, daß Technikhersteller und -verwender im Rahmen vertrauensbasierter Beziehungen in Netzwerken eine evolutionäre Leistungssteigerung der Bearbeitung von Unsicherheiten erreichen können.

Im dritten Abschnitt wird die Kategorie des *Innovationslernens* eingeführt. Mit dieser Kategorie sollen übergreifend individuelle, interaktive, organisationale und netzwerkförmige Praktiken heterogener Akteure im Innovationsprozeß erfaßt werden. Abschließend werden hier Innovationsnetzwerke hinsichtlich ihrer Grenzstellenproblematik, d.h. ihrer Verselbständigungsgefahr, der Gefahr konservativer Strukturierung und den daraus resultierenden Anforderungen an reflexive Lernstrategien diskutiert.

2. Netzwerke als neue Form der Sozialintegration

2.1 Konturen der Netzwerkdiskussion

Neben den eingeführten Begriffen Interaktion, Gruppe, Organisation und System wird seit geraumer Zeit in unterschiedlichen Forschungsfeldern der Begriff Netzwerk für soziale Koordinationsformen individueller und kollektiver Akteure deskriptiv und analytisch benutzt. Der Schlüsselbegriff *Vernetzung*, der sich in der wissenschaftlichen Begleitforschung für diese neuartigen Phänomene findet, ist nicht leicht zu präzisieren. In den Sozialwissenschaften wird der Begriff immer dann verwendet, wenn soziale Interaktionszusammenhänge übergreifend bzw. quer zu einzelnen sozialen Gebilden (Gruppen, Organisationen, Systeme) beobachtet werden und eine eigene Form der

Sozialintegration sind. Klare Grenzen (vor allem formale Organisationsgrenzen) sind für Netzwerke nicht notwendig. Es können zu unterschiedlichen Zeitpunkten diverse (individuelle und kollektive) Akteure involviert sein, ebenso besitzen sie als pulsierende Beziehungsgeflechte mit wechselnden Akteuren kein Zentrum.[2]

Trotz der Vielfalt von Forschungsfeldern in denen die Netzwerkkategorie zu Analysezwecken eingeführt worden ist[3], den nur mit Mühe überschaubaren Definitionsvorschlägen und der scheinbar ungebrochenen Karriere des Netzwerkbegriffs lassen sich gegenwärtig einige Entwicklungen markieren, die zu einem *kognitiven Kern* der Netzwerkforschung führen könnten. Dazu gehören die folgenden Elemente:

- Auf die (Ausgangs-)Frage, warum individuelle und kollektive Akteure netzwerkartige Beziehungen eingehen sollten, wird im allgemeinen ein potentieller Kooperationsgewinn herausgestellt, der durch eine individuelle Nutzenmaximierungsstrategie nicht erzielt werden könnte. Als Basishypothese wird angenommen, daß *Alter* Ressourcen kontrolliert, die *Ego* zur Nutzensteigerung benötigt und umgekehrt. (Lundvall 1992; Jansen, Schubert 1995; Weyer 1996) Umstritten ist hier, ob die spieltheoretische Modellierung von Kooperation (Theorien rationaler Wahl) der Funktionsweise und Struktur von Netzwerken hinreichend gerecht wird. (Vgl. Johnson 1992)
- Ein zweiter Punkt betrifft die Frage des Aufbaus eines Netzwerkes: Wenn opportunistisches Verhalten möglich, Kontrollformen gering und damit das Risiko der Kooperation für beide Partner groß ist, gilt es zu fragen, wer beginnt mit der "riskanten Investition in Kooperation" und wie kommt es zum Aufbau des Netzwerkes? Verschiedene Netzwerkansätze sehen im Begriff des Vertrauens den basalen Mechanismus zum Aufbau eines Netzwerkes. Allerdings erfolgt selten eine soziologische Präzisierung des Vertrauensbegriffs; die deskriptive Verwendung steht im Vordergrund.[4]

---

2 Ein Überblick zu soziologisch inspirierten Netzwerkanalysen findet sich in Theis 1994.

3 Vgl. beispielsweise für die Politikwissenschaft Jansen, Schubert (1995); Hértitier (1995); Marin, Mayntz (1991); für die Wirtschaftswissenschaften Powell (1990); Lundvall (1992); Grabher (1993); für die Industriesoziologie Mill, Weißbach (1992); Bieber (1992); Pohlmann (1996); für die Organisationssoziologie Tacke (1996); und nicht zuletzt für die Techniksoziologie Hughes (1987); Callon, Law (1989); Latour (1994); Weyer (1994); Kowol, Krohn (1995; 1997).

4 Eine Ausnahme findet sich beispielsweise in Sydow 1993.

- Ein dritter Punkt berührt die Frage, inwieweit Netzwerke zwischen oder jenseits von Markt und Hierarchie bestehen. Neuere Netzwerkanalysen folgen in der Regel einem Definitionsvorschlag von Powell (1990) und gehen davon aus, daß Netzwerke eine eigenständige, dritte Koordinationsform neben Markt und Hierarchie darstellen.
- Damit im Zusammenhang steht, daß die diskursive Aushandlung als Koordinationsform von Netzwerken gesehen wird, hier also abweichend von formalen Verträgen, die die Marktkoordination dominieren, und abweichend vom Anweisungsprinzip der hierarchischen Organisation ein anderer Typus der Sozialintegration vorherrscht. (Kowol, Krohn 1995)
- Weiterhin existieren einige Grundbegrifflichkeiten wie Reziprozität, Lernen, und Vorzugsbehandlung, mit denen häufig deskriptiv die Kooperationsbeziehungen innerhalb von Netzwerken beschrieben werden. Dabei scheint der Begriff des Lernens in der Netzwerkdiskussion eine besondere Rolle zu spielen, obwohl es auch hier noch nicht gelungen ist, die Kategorie des Lernens hinreichend zu präzisieren. Anschlüsse an die Konzepte des organisationalen Lernens können sich hier als hilfreich erweisen.[5]

Der Herausbildung eines *kognitiven Kerns* von Netzwerktheorien stehen allerdings auch Hindernisse gegenüber, die nicht einfach zu überwinden sind: Dazu gehören Kontroversen zur Bedeutung bzw. Zentralität von Macht und Machtasymmetrie in Netzwerken (Pohlmann 1996), zur Architektur positionaler und relationaler Elemente innerhalb von Netzwerken (Mizruchi 1994) und zum schon angesprochenen Verhältnis von Netzwerktheorie und rational choice-Theorie (ebd.) einerseits und Netzwerktheorie und Strukturtheorie (vgl. Wellman 1988) andererseits. Theoretisch umstritten ist, ob Netzwerke "*ein Grundmerkmal gesellschaftlicher Modernisierung*" (Mayntz 1992: 21) darstellen und deshalb die "*theoretische Relevanz*" der Kategorie "*auf der Makroebene der Gesellschaft*" anzusiedeln ist. Zwar kann dies für die "Policy-Network-Analysen", für die sich Renate Mayntz besonders interessiert, insofern mit einigem Recht beansprucht werden, da die Abstimmungs- und Aushandlungsprozesse zwischen funktional ausdifferenzierten Teilsystemen der Gesellschaft hier im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen. Aber schon im Bereich der Vernetzung psycho-sozialer Einrichtungen, der Vernetzung von Unter-

---

5 Vgl. Abschnitt 3 in diesem Kapitel.

nehmen zur Koordination von Innovation oder der Vernetzung von WissenschaftlerInnen zu spezifischen Themenbereichen bietet sich wohl eher an, den Netzwerkbegriff auf einer mittleren Analyseebene anzusiedeln. Im engeren Zusammenhang der Wissenschafts- und Techniksoziologie ist eine besondere Kontroverse zu beobachten: der actor-network-approach (Callon, Law 1989; Latour 1994) provoziert die Frage nach der Verknüpfung des Technischen mit dem Sozialen und behauptet eine Quasi-Ranggleichheit von *humans* and *nonhumans* ("*Aktanten*").[6] In der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung stehen sich verhaltenstheoretische und strukturtheoretische Erklärungen[7] gegenüber: Beide nehmen an, daß Unterschiede im individuellem Verhalten durch die Differenzen innerhalb der Opportunitätsstrukturen der Akteure erklärt werden können, sie differieren aber in der Frage der Determinierung des individuellen Verhaltens. Verhaltenswissenschaftliche Erklärungen nehmen an, daß Individuen in sozialen Situationen nach exogen vorgegebenen Präferenzen Entscheidungen treffen (Utilitarismus). Strukturtheorien benötigen diese Rationalitätsannahme nicht, sie benutzen beispielsweise "*constrain-*" und "*embeddedness*"-Konzepte, um das Verhalten von Akteuren zu erklären. (Vgl. Granovetter 1985; Mizruchi 1994: 335f.)

Diese Kontroversen sollen hier nicht weiterverfolgt werden; vielmehr werde ich im folgenden mit den Mitteln der Selbstorganisationstheorie und auf der Grundlage des empirischen Materials der Innovationsfallstudien einen eigenständigen Beitrag zur Netzwerktheorie formulieren, der seinen Bezugspunkt - das sei nochmals betont - im kleineren Segment industrieller Innovationsprozesse besitzt.

Folgt man den Überlegungen der Selbstorganisationstheorie, kann die Genese der Vernetzung heterogener (individueller oder kollektiver) Akteure als ein Prozeß dynamischer Strukturbildung beschrieben werden. Solche Systembildungsprozesse führen zu

---

6 Wie de Vries (1995) herausstellt, kreist diese Kontroverse um epistemiologische versus ontologische Fragen. Während aktuelle soziologische Debatten Probleme der Modernisierung, Postmoderne oder reflexiven Moderne thematisieren (Luhmann 1992; Beck, Giddens, Lash 1996, Berger 1996) provozierte Bruno Latour (1995) jüngst mit der These "Wir sind nie modern gewesen". Die derart grundlagentheoretisch aufgeladene Debatte kann im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt werden; deshalb wird auf eine ausführliche Diskussion verzichtet. (Vgl. aber Pickering 1992; Joerges 1995; de Vries 1995; Elzen et al. 1996 und die Diskussion in American Behavioral Scientist zwischen Latour; Lee, Brown; Ashmore, Wooffitt, Harding; 1994)

7 Für die erste steht die Transaktionskostentheorie von Williamson (1990) und im speziellen die "rational-choice"-Theorie, für die letzte ist der Bezugspunkt Wellman (1988).

einer eigenständigen Operationsweise, die Formen der Außensteuerung selten zulassen. Klassischen input-output-Analysen gegenüber gehe ich von einer zirkulären Operationsweise von Netzwerken aus, so daß für die Selbststeuerung eines Netzwerkes ein dominanter (Steuerungs-)Akteur unwahrscheinlich wird. (Vgl. auch: Willke 1996: 31f.) Für die nun zu elaborierenden Innovationsnetzwerke wird zunächst der Begriff der basalen Unsicherheit des Innovationsprozesses eingeführt. Im Management von Unsicherheit sehe ich das zentrale Problem moderner Innovationsprozesse. Unsicherheit im Innovationsprozeß kann hinsichtlich der Entwicklung von Märkten und der sachlichen (technologischen) Machbarkeit eines neuen Produkts behauptet werden.[8] Diese Unsicherheiten werden soziologisch als Kontingenzproblem reformuliert, in bezug auf die Hersteller-Verwender-Dyade als Problem doppelter Kontingenz.

2.2 Kontingenzen im modernen Innovationsprozeß

In der neoklassischen Konstruktion der ökonomischen Welt handeln Akteure auf der Grundlage umfassender Information (Marktübersicht) vollständig rational; sie können ihre Transaktionen - ohne vertragsübergreifende Beziehungen zu anderen Teilnehmern einzugehen - allein nach rational kalkulierbaren Erwägungen/Präferenzen optimal gestalten. In einer gleichgewichtigen, stationären Ökonomie, in der Waren mit feststehenden Gebrauchseigenschaften und Preisen zirkulieren, bildet die neoklassische Annahme eine sinnvolle Abstraktion. Entfernt man sich aber vom Problem der Ressourcenallokation oder des allgemeinen Warentausches und führt man eine ungleichgewichtige Dynamik in die Wirtschaft ein - diese Endogenisierungsperspektive verfolgten Marx und Schumpeter -, wird das ökonomische Geschehen komplexer und undurchsichtiger. Daraus folgt: Mit der Einführung von Produktinnovation in das Marktgeschehen erodiert die Konstruktion rationaler Kalkulation.

Der spontane Mechanismus des Marktes, der die Koordination von unabhängigen Interessen gewährleisten soll, ohne die Beteiligten zu zukünftigen Vereinbarungen zu verpflichten, besitzt seine Stärken gerade nicht für den Bereich der technischen

---

8 Zurückgestellt werden hier die aus der Binnenperspektive der innovierenden Unternehmen existierenden Probleme der kalkulatorischen und organisationalen Unsicherheiten hinsichtlich der erfolgreichen Bewältigung von Innovation. (Vgl. Rammert 1988) Das Interesse zielt auf die zwischenbetrieblichen Dimensionen von Unsicherheit mit dem Ziel, die Mechanismen der Vernetzung zu analysieren.

Produktinnovation. Powell (1990) geht von einer klassischen Kennzeichnung des Marktes aus:

> "*The stereotypical competitive market is the paradigm of individually self-interested, noncooperative, unconstrained social interaction ... Markets offer choice, flexibility, and opportunity ... prices alone determine production and exchange ... Markets are a form of noncoercive organization, they have coordinating but not integrative effects. As Hayek (1945) suggested, market coordination is the result of human actions but not of human design.*" (Powell 1990: 302)

Aber in einer dynamischen Ökonomie, die durch vertikale Arbeitsteilung und allgemein verbreitete hohe Innovationsaktivitäten gekennzeichnet ist, wird ein substantieller Teil der Innovationsaktivitäten durch das Wissen und die Erfordernisse der potentiellen Nutzer erbracht:

> "*In such an economy successful innovations must be based upon knowledge about the needs of potential users, and this knowledge is as important as knowledge about new technical opportunities.*" (Lundvall 1988: 350)

Andererseits hängt der Erfolg der Diffusion einer Innovation wiederum von der Verbreitung der Informationen über die Gebrauchswerteigenschaften unter den Nutzern ab. Für diese gegenseitigen Informationserfordernisse gibt es im reinen Marktmodell bestenfalls eine Lösung, wenn sich die Anbieter und Nachfrager im gleichen Markt befinden, was keineswegs immer der Fall ist. Und selbst hier sind die Informationen selten spezifisch genug für eine genaue Einsatzplanung. Anbieter und Nachfrager operieren unter großer Unsicherheit und den Innovationen haftet ein hoher Grad an Zufälligkeit und Wahllosigkeit an[9] - und gerade dies kann zu risikoaversen Abwartehaltungen führen, bis endlich ein transparenter Markt von irgendwoher entstanden ist. Lundvall (1988) folgert daraus:

> "*In a world where all products were characterized by constant use-value characteristics, pure markets could survive, and those pure markets would tend to reproduce the existing set of use values. Introducing product innovations into economic models cannot but erode the traditional concept of the pure market.*" (351)

---

9 Amann, Cooper (1982) verweisen darauf, daß auch in den ehemaligen sozialistischen Planwirtschaften - wo zu unterstellen wäre, daß der Planungsmechanismus die gegenseitigen qualitativen Informationsprobleme löst -, das Fehlen effizienter Hersteller-Anwender-Beziehungen als ein Hauptproblem der Ökonomie galt.

Nun lassen sich zwar mittels Marktbeobachtung vereinzelt Produktideen generieren; doch die Signale des Marktes sind vergleichsweise gering, wenn die Produktion auf geringe Losgrößen ausgelegt ist und die technischen Artefakte eine hohe Komplexität und Spezifität aufweisen. Das Problem ist hier ein doppeltes: Einerseits sind innovierende Unternehmen mit dem Problem konfrontiert, technologiebezogene Informationen zu bekommen (bspw. von Forschungsinstituten, Zuliefern, Fachmessen, Nutzern), andererseits sind sie gezwungen, aus der Menge vorliegender Informationen ("*information overload*") zu selegieren.[10] Dem Problem der Varianz (alternative technologische Möglichkeiten) folgt ein Selektionsproblem: was sind nutzerspezifische bzw. marktkonforme Innovationen? Informationsgewinnung und -austausch besitzen dementsprechend einen hohen Stellenwert zur Bewältigung der Innovationsanforderungen. Dieser Stellenwert steigt, je avancierter die Innovationsprojekte und die Kontingenzen des Innovationsgeschehens für die Erzeuger und Verwender sind. Je riskanter die Annahmen über den möglichen Verwendungskontext, desto *experimenteller* der Entwurf. Beiden Seiten fehlt dann das Routinewissen, über das die Risiken der Entwicklung und Einbettung einer neuen Technik in die organisatorischen Kontexte (Arbeitsablauf, Mitarbeiterkompetenz, Kundenbetreuung usw.) abgefedert werden können. Der Verwendungskontext, über den bei der Erfindung einer neuen Technik bestimmte Annahmen getroffen werden und der durch den Einsatz der Technik als sozialer Handlungsraum strukturiert wird, erweist sich häufig als wesentlich sperriger als von den Promotoren der Technik angenommen worden ist. Die in die Nutzungsvisionen der Entwickler eingegangenen sozialen Implikationen werden unterschätzt. Bei der Implementation einer bestimmten Technik entsteht dann häufig eine Eigendynamik, so daß, wie Fleck u.a. (1990) zeigen, die Anfangsvisionen über das zukünftige Nutzerverhalten vielfältig revidiert werden müssen. Anders als es das Bild der *Trajektorie* (Dosi 1983) nahelegt, wird die Technik fortlaufend modifiziert. Wie in den Innovationsfallstudien (Kap. 4) herausgestellt, finden wechselseitige Koordinierungen der Innovations- und Implementationsprozesse in allen Technisierungsphasen statt.

---

10 "*The problem of innovation is to process and convert information from diverse sources into useful knowledge about designing, making and selling new products and processes. Networks were shown to be essential both in the acquisition and in the processing of information inputs.*" (Freeman 1991: 501)

Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Bewältigung der zunehmenden Zeitspanne bei einzelnen Innovationsprojekten. Ein Projekt, das sich über mehrere Jahre erstreckt, ist ex ante nicht vollständig planbar; die Risiken hinsichtlich der gebundenen bzw. als Vorleistung zu erbringenden Kapitalmittel steigen und die potentiellen Technologieprobleme werden uneinschätzbar (z.B. durch die Konkurrenz alternativer Entwicklungen). Damit im Zusammenhang stehen erhöhte Anforderungen an die inner-, zwischen- und außerbetrieblichen Kommunikations- und Kooperationsbeziehungen.

Die Vorteile eines koordinierten Prozesses des Informationsaustauschs steigen offensichtlich durch den Aufbau von dauerhaften Kooperationsbeziehungen. In erster Linie sind damit die Hersteller-Anwender-Beziehungen gemeint. Darüber hinaus sind auch die Hersteller-Zulieferer-Beziehungen, die Beziehungen zwischen außerbetrieblichen Forschungsinstituten, den Technikherstellern und den Verwendern und die Einbeziehung von institutionellen Kontextbildnern betroffen. Ähnliche Kooperationsbeziehungen sind auch außerhalb des privatwirtschaftlichen Innovationsbereichs bei der Modernisierung der öffentlichen Infrastruktur, im Energiesektor und der Entsorgungswirtschaft vorhanden, auch wenn hier die Tendenz besteht, technologische Unsicherheit durch Monopolstellungen zu kompensieren. Und für den Bereich der Dienstleistungen wurde schon früh von Gartner und Riessman (1978) in Anschluß an Fuchs (1968) die These entwickelt, daß viele Dienstleistungen die Beteiligung der Konsumenten an ihrer Produktion voraussetzen.[11]

Historisch reagierten die Unternehmen auf diese Unsicherheitsprobleme zunächst mit vertikaler Integration, d.h. durch die Integration von Organisationsumwelten in die eigene Unternehmung. Beispielsweise haben die Unternehmen ihre Innovationsaktivitäten, insbesondere die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten hauptsächlich intern organisiert und auf externe Partner nur dann zurückgegriffen, wenn es sich um relativ simple Funktionen oder Produkte handelte. (Mowery 1983; Nelson 1990) Unter Modernisierungsgesichtspunkten wurde die Erfindung der Methode des Erfindens als vielleicht wichtigste institutionelle Innovation des letzten Jahrhunderts bezeichnet. (Bell 1975: 43)[12] Ein Ausdruck dafür ist die seit dem letzten Jahrhundert zu beobachtende

---

11 Vgl. zur Entstehung und zur zunehmenden Institutionalisierung der "*Konsumentenmacht*" Gartner, Riessman (1978: 98ff.).

12 Als Beleg hierfür zitiert Bell (1975) zustimmend Alfred North Whitehead (1960: 141): "*Die größte Erfindung des 19. Jahrhunderts war die Erfindung der Methode des Erfindens. Eine neue*

Etablierung betriebsinterner Forschung und Entwicklung und damit einhergehend die Entstehung sogenannter *science based industries*. Der Internalisierung unkontrollierter Umwelten entsprachen als organisationale Strategien für den Umgang mit selbsterzeugten Unsicherheiten die bürokratische Kontrollhierarchie und die arbeitsteilige Organisation der Produktentwicklung.

Die Konzepte des Taylorismus und der fordistischen Massenproduktion beruhten auf der Einheit des Unternehmens als Zentrum des Innovationsprozesses. In der Binnenperspektive der Betriebe führte dies zur Differenzierung funktional unterschiedlicher Abteilungen, deren Aufgabe darin gesehen wurde, die Signale des Fortschritts (technische Dynamik, Marktentwicklung) in Handlungsstrategien umzusetzen, die den Unternehmen Überlebenschancen sicherte. (Vgl. Kowol, Krohn 1997: 39) Der fordistischen Massenproduktion entsprachen die Prinzipien von Berechenbarkeit, Linearität und Serialität. (Vgl. Bechtle 1994) Rationalisierung bedeutete, nach berechenbaren Zweck-Mittel-Schemata Zustandsoptimierungen zu planen und zu implementieren. Abgestützt durch ein auf Hierarchie basierendes 'Befehlsmodell' erschien die industrielle Modernisierung als ein durch zentrale Akteure plan- und steuerbarer Prozeß, der auch im Überraschungsfall (Krisen) immer noch auf die Rahmenbedingungen einer nationalstaatlich regulierten Ökonomie vertrauen konnte. Innovationsrelevantes Wissen war hier einfach polarisiert: Technologie war vornehmlich das Wissen eines *scientific management*, das Produkte ebenso wie Absatzmärkte zu planen versuchte; die Arbeiter waren zuständig für die ausführenden Tätigkeiten. Wissen galt als rationales Wissen.

Gegen diese Sichtweise könnte einwendet werden, daß auch für die fordistisch-bürokratischen Innovationsprozesse galt, daß das Konstanthalten organisationsinterner Operationen bei wechselnden Umwelteinwirkungen unvorhergesehene dynamische Prozesse und externe Kontingenzen bewirken kann. Gegenwärtig muß jedenfalls davon ausgegangen werden, daß bei den aktuellen Prozessen der umfassenden Informatisierung

---

Methode kam auf, ohne die unsere Epoche unverständlich bleibt. Neben ihr fallen die einzelnen Neuerungen wie Bahn, Telegraph, Radio, Spinnmaschine, synthetische Farben nicht ins Gewicht. Auf die Methode selbst müssen wir uns konzentrieren, denn sie ist die einzig wirklich ausschlaggebende Neuerung, die die alte Zivilisation bis in ihre Grundfesten erschüttert hat." (43) Man muß die in dem Zitat implizierten Schlußfolgerungen, die Bell dann deutlich herausstellt, um (s)eine Version der Planung von Technologie mittels der "intellektuellen Technologie" zu formulieren (42ff.) nicht teilen, um zuzustimmen, daß die Institutionalisierung von Forschung und Entwicklung innerhalb der Unternehmen zu einer enormen Beschleunigung des technischen Wandels geführt hat. Paradigmatisch steht hierfür die chemische Industrie.

von (fast) allen Entscheidungsebenen innerhalb von Unternehmen und zwischen den Unternehmen sowie der Globalisierung der Ökonomie die Signale des Fortschritts nicht ausbleiben, sondern überkomplex und vielfältig werden, sich überlagern und widersprechen und nicht mehr in einfache Entscheidungen dekomponiert werden können.

Innovationsrelevantes Wissen ist vielfach kontextuelles Wissen; explizites und implizites Wissen sind ineinander verstrickt, deren Geltung ist umstritten und das Innovationshandeln wird begründungspflichtig. Die von Max Weber analysierte Rationalität wirtschaftlichen Handelns löst sich aber nicht einfach auf, vielmehr wird Rationalität *multireferenziell* und sie erhält eine mikro-politische Dimension. Explizites und implizites Wissen begründen die Lokalität, d.h. den Kontext des Wissens und dieser kann in einem Gegensatz zur Globalität der Märkte geraten.

Um die damit verbundenen Folgen für die innovierenden Unternehmen zumindest anzudeuten, sei darauf verwiesen, daß die mit diesen Entwicklungen einhergehende Zunahme von Kontingenz, Komplexität und Nicht-Linearität zur Erosion berechenbarer Zweck-Mittel-Rationalisierung, klarer Anweisungsprinzipien und zweck-rationaler Organisation geführt haben.[13] Die nun notwendig werdende Dynamisierung der klassischen Organisation sowie der Organisationsgrenzen, im Zusammenhang zunehmender Dezentralisierung von Entscheidungsbefugnissen, stellen eine rationale Zweck-Mittel-Kalkulation der Innovationsprozesse weitgehend in Frage:

> "*Dynamische Rationalisierungsmodelle und zumindest das klassische, betriebswirtschaftliche Optimierungsprinzip, das auf Zurechenbarkeit von Kosten beruht, schließen sich wechselseitig aus. Wenn Veränderungen nicht ex ante kontrollierbar sind, ist auch die Fixierung optimaler Lösungen im Sinne der Auswahl von eindeutigen Alternativen ausgeschlossen. Gerade deswegen ist ein durch Organisation gesteuerter Entscheidungsprozeß als Surrogat nicht erreichbarer Zustandsoptimierung auf Dauer notwendig.*" (Bechtle 1994: 50)

Theoretisch wurde die Entscheidungsalternative: Internalisierung oder vertragsmäßiger Erwerb von Leistungen, die ein anderer kontrolliert (*make or buy*), im Transaktionskostenansatz von Williamson (1975; 1990) ausformuliert.[14] Williamson liefert mit seiner Unterscheidung von Markt versus Hierarchie einen ersten Hinweis auf zwischenbe-

---

13 Was in (fast) beliebigen Veröffentlichungen zur neueren Managementtheorie aber auch der Organisationssoziologie nachzulesen ist. (Vgl. beispielsweise Ortmann 1994; Tacke 1996; Willke 1996)

14 Zuerst Coase (1937).

triebliche Kooperationsformen und Arbeitsteilung, wenn auch mit einem schwach ausgeprägten Innovationsbegriff. Ökonomische Effizienz ist insbesondere abhängig von der Reduktion von Austausch-, Such- und Vertragskosten. Bei hohen Transaktionskosten für spezifische Güter ist eine Minimierung dieser Kosten durch institutionelle Arrangements - z.B. vertikale Integration - wahrscheinlich. In Abhängigkeit von den Variablen Informationskosten, begrenzte Rationalität der Akteure und Opportunismus können Märkte Hierarchien weichen oder umgekehrt. Zwar leistet die Transaktionskostentheorie einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der institutionellen Bedingungen von Warenzirkulation und -produktion, und hier liegt aus soziologischer Sicht die Stärke des Modells, doch angewendet auf das basale Problem der Unsicherheit bei Innovationsprozessen führt die Alternative Markt versus organisationale Internalisierung in eine Sackgasse. Williamson (1975: 20) geht davon aus, daß Märkte immer schon vorhanden sind ("*In the beginning there are markets*"). Ob sie aber auch für eine technische Innovation bestehen, dies ist - wegen der Marktintransparenz - für die Organisationen ex ante unbestimmt.[15]

(Wirtschafts-)Organisationen versuchen daher, dieses Problem nicht (allein) durch Marktbeobachtung anzugehen, sondern durch Kooperationen, die auch die Funktion neue Marktsegmente zu bilden, mitübernehmen können. Die empirisch gewonnenen Eindrücke über extrem lange Vorvertragsphasen zwischen Technikanbietern und Technikanwendern im Werkzeugmaschinenbau zeigen, daß Unternehmen bei Verhandlungen über Güter mit hoher Faktorspezifität vertrauensbasierte Kooperationen wählen, ohne sich dabei kalkulatorisch transaktionskostenminimierend zu verhalten. Innovationsstrategische Überlegungen spielen hier eine wichtigere Rolle als die Minimierung von Transaktionskosten und werden in einer gewissen Grauzone zur Effizienz belassen.[16] Effizienz ist in solchen Transaktionen sekundär, eine vertrauensbasierte Kooperation, die technikbezogene Kommunikationen begünstigt, wird hier im Zweifelsfall bevorzugt. Zwischenbetriebliche Kooperationsprozesse sind häufig nicht transaktionskostenmini-

---

15 Williamson hat sich mit der Ökonomie der Innovation nur am Rande befaßt. Er begnügt sich mit dem Hinweis, daß die Beziehungen zwischen Innovation und Organisation einer genaueren Untersuchung bedürfen. (1990: 164)

16 Daraus ergibt sich auch eine Abkehr vom klassischen Vertragswerk; es wird prozeduralisiert und nimmt eine rekursive Form an. Vgl. die Konzeption der "*relationalen Verträge*" bei Macneil (1985). Zum Umgang mit einer Effizienzgrauzone bei technischen Innovationen, siehe z.B. Braczyk (1988).

mierend, sondern implizieren lange Verhandlungsphasen und mit Rücksicht auf weitere Kooperationen eine geringe Preiselastizität. Die Transaktionskostentheorie bleibt der neoklassischen Konstruktion eines rational kalkulierenden Akteurs verpflichtet: Wirtschaftsunternehmen handeln auf der Basis von Preissignalen, einschließlich der Informations-, Austausch- und Suchkosten für Güter und entwickeln hierzu zweckrationale Instrumentarien. Die (rationale) Wahl von institutionellen Arrangements sichert die Transaktionen ab und mindert die Folgeprobleme von *bounded rationality* und drohendem Opportunismus.

Gerade dieser Rationalitätskonstruktion soll hier mit dem Bezug auf Innovationsaktivitäten widersprochen werden. Tacke (1996) weist darauf hin, daß die Vorstellung von Handlungsrationalität im Transaktionskostenansatz inkonsistent ist, da einerseits mit der Verhaltensannahme der begrenzten Rationalität operiert wird, im gleichen Zusammenhang aber auf der Entscheidungsebene bei der Wahl unterschiedlicher institutioneller Arrangements ein streng rationaler Vergleich von Transaktionskosten für möglich gehalten wird. In der Tat wäre dies auch möglich, wenn die in der Ökonomie einflußreiche - schon von Knight (1921) eingeführte - Unterscheidung von Risiko und Ungewißheit für das (ökonomische) Entscheidungsverhalten tragen würde. Dann bestünde bei riskanten Investitionen die Möglichkeit der rationalen Kalkulation von Wahrscheinlichkeiten. Im Gegensatz zur Ungewißheit bilden Risiken nach Knight abwägbare Ereignisse, die einem Wahrscheinlichkeitskalkül unterworfen werden können. Luhmann (1990) hat in der Diskussion zu einem soziologisch gehaltvollen Risikobegriff die Nähe dieses Begriffs zur rationalen Abwägung kritisiert und gefragt, "*wie die Entscheidung es überhaupt anstellt, Unsicherheit in Sicherheit zu transformieren.*" (136) Da zum Zeitpunkt einer Entscheidung die Zukunft noch nicht feststeht, kann diese immer auch anders ausfallen. Die Entscheidung bleibt riskant.

> "*Die Zukunft ist und bleibt immer ein Horizont der Unsicherheit. Sie steht noch nicht fest und kann immer auch anders als erwartet ausfallen.*" (136)

Dementsprechend kritisiert Luhmann die bei Knight (1921) unterstellte Möglichkeit einer rationalen Abwägung von zukünftigen Risiken. Diese Kritik ist auf die Transaktionskostentheorie auszuweiten:

> *"Die Transformation (von Unsicherheit in Sicherheit, U.K.) wird durch die beliebte Wahrscheinlichkeitsrechnung geleistet, deren Prämissen zwar auf Einzelentscheidungen nicht anwendbar sind, aber mangels anderer Möglichkeiten dann doch dafür herhalten müssen."* (136)

Die Rationalitätserwartungen der ökonomischen Entscheidungstheorie müssen dementsprechend aus soziologischer Perspektive distanziert betrachtet werden. Ein soziologischer Risikobegriff kann sich nicht damit begnügen die Risikokalkulation als Maßstab rationalen Entscheidens zu behaupten. (Vgl. ebd.: 137f.) Dies soll hier nicht weiter verfolgt werden; im Kontext der Innovationsproblematik kam es nur darauf an zu zeigen, daß Unsicherheit nicht über Entscheidungen in Sicherheit transformiert wird. Unsicherheit stellt vielmehr ein basales Ordnungsproblem innerhalb des Innovationswettbewerbs dar, deshalb spielt die Erkenntnis eine wichtige Rolle,

> *"daß in komplexen Informationsverarbeitungskonstellationen das Verfahren der Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung von Informationen definiert, was als Ergebnis möglich ist."* (Willke 1996: 33)

Damit ist die Umstellung von einem substantiellen zu einem relationalen Rationalitätsbegriff intendiert; mit der Hervorhebung des Verfahrensbegriffs wird Rationalität in prozedurale Rationalität transformiert. (Vgl. ebd.) Im Anschluß an die Selbstorganisationstheorie kann prozedurale Rationalität als eine Selbstattribution der *"komplexen Informationsverarbeitungskonstellation"* (hier: eines Netzwerks) beobachtet werden.

Die soziologische Beschreibung des Marktes knüpft an diese Beobachtungen an und fragt beispielsweise, was und wie die Produkthersteller auf einem Markt beobachten, um zu Entscheidungen zu kommen, die weitere Operationen ermöglichen. (Vgl. White 1981; Baecker 1988) Während die klassische Ökonomie davon ausgeht, daß die Produkthersteller ihre Angebote und Preise an Nachfragestrukturen orientieren, die sie selbst über Werbung zu beeinflussen versuchen, zweifelt die soziologische Markttheorie an dieser Möglichkeit. Produkthersteller beobachten nicht Nachfrager, sondern orientieren ihr (Entscheidungs-)Verhalten an den im gleichen Markt operierenden Konkurrenten, so das inzwischen klassische Axiom von Harrison C. White. (Ebd.) Jeder Technikhersteller handelt auf der Basis von Eigeninteressen, die auf der Basis von Beobachtungen anderer Technikhersteller immer wieder neu erzeugt werden, so daß ein Rückkopplungsprozeß entsteht.

> "*Markets are self-reproducing social structures among specific cliques of firms and other actors who evolve roles from observation of each other behavior. I argue that the key fact is that producers watch each other within a market.*" (Ebd.: 518)

Märkte sind White's Ansicht nach weder durch die Nachfrage bestimmt noch durch spekulatives Verfolgen amorpher Nachfrage durch die Produkthersteller, sondern durch die Beobachtung der Wettbewerbssituation anderen Produkthersteller. Märkte sind Sozialstrukturen, in denen Produkthersteller ihre eigenen Handlungen reproduzieren, solange die durch die Handlungen ausgelösten Aktionen die Erwartungen bezüglich der Ertragssituation bestätigen. Parallel dazu sind Unternehmen permanent auf der Suche nach Marktnischen. Sie können diese durch die Beobachtung der anderen Wettbewerber, nicht durch die Beobachtung von Nachfragestrukturen finden, da die Beobachtung von Kunden den Anbietern nur einen Marktspiegel vorhält, der wiederum auf das Agieren von Wettbewerbern in einem Markt verweist:

> "*Markets are tangible cliques of producers observing each other. Pressure from the buyer side creates a mirror in which producers see themselves, not customers.*" (Ebd.: 543f.)

Dank des Kundendrucks können die Produkthersteller im Marktspiegel die Angebote (Leistungen, Preise, etc.) der Konkurrenten erkennen und ihre eigene Operationsweise daran orientieren. Falls sich nun die Hersteller und Nutzer nicht im gleichen Markt befinden, beispielsweise weil durch eine Innovation erst ein Markt geschaffen werden soll, gibt es für die gegenseitigen Informationserfordernisse keine Lösung; ein Informationsaustausch über Produkte existiert allein in gleichen Märkten (Marktspiegel). Bezüglich der qualitativen Aspekte eines neuen Produkts operieren Hersteller und Anwender im reinen Markt also unter hoher Unsicherheit. Innovationen können hier allenfalls zufällig und wahllos sein, was Erfolg nicht ausschließt. Mit der Konzeption der Innovationsnetzwerke wird hier der Versuch unternommen zu zeigen, wie innovierende Unternehmen die Zufälligkeit und Wahllosigkeit eines Innovationserfolgs durch unsicherheitsreduzierende neue Kooperationsformen zu überwinden versuchen.

Im Anschluß an diese Überlegungen soll nun die für die innovationstheoretischen Überlegungen wichtige Frage von White (1981) wiederaufgenommen werden: "*Where do Markets come from?*" Diese Frage läßt sich folgendermaßen spezifizieren: Wie können für neue Produkte Märkte erzeugt werden, wenn intentional handelnde Akteure versuchen, ihren Nutzen zu steigern, sie aber nicht hinreichend wissen, durch welche

Alternativenwahl dies geschehen könnte? Die Antwort lautet: aus der Vernetzung von Herstellern und Verwendern. Diese Antwort muß einbeziehen, daß nicht nur die innovierenden Unternehmen mit dem Problem der Unsicherheit konfrontiert sind, sondern ebenso die Nutzer neuer Produkte. Auch für sie ist ex ante unsicher, mit welchen Produkten ihre Erwartungen möglichst kontextspezifisch befriedigt werden können. Als basales Ordnungsproblem für einen Innovationsprozeß kann also ein doppeltes Informationsproblem gelten.

Der Ausgangspunkt für die weitere Analyse ist die aus diesen Vorgaben verallgemeinerte Beobachtung, daß Innovationen in der Regel in Hersteller-Verwender-Dyaden eingebunden sind. Gelegentlich sind diese Beziehungen hauptsächlich marktförmig, vor allem bei Massenverbrauchsgütern, dann werden die Erfahrungen und Verschiebungen der Präferenzen der Nutzer nur passiv und indirekt zurückgemeldet[17], oder hierarchisch, bei der Internalisierung von Märkten. Neben Hersteller-Anwender-Beziehungen finden sich Kooperationen zwischen Forschungsinstituten und einzelnen Unternehmen, Gemeinschaftsforschungen (z.B. innerhalb der AIF), technischen Normungsprozessen, Mediationsverfahren, *runden Tischen*, Umweltverträglichkeitsverfahren und Technikfolgenabschätzungen (also Koordinationen zwischen Politik und Wirtschaft[18]). Die Kooperationen stehen für neuartige Vernetzungsformen, in denen neue Abstimmungsprozeduren und Verhandlungsmuster geschaffen, erprobt und stabilisiert werden. Durch sie werden Rückkopplungen im Technikgeneseprozeß erzeugt. Die Entstehung dieser neuen Kooperationsformen kann als eine Reaktion auf das Problem wechselseitigen Markt- und Organisationsversagens zurückgeführt werden. Dazu und zur Frage, inwieweit solche Vernetzungen als neu beobachtet werden, stelle ich zunächst noch einige Beispiele vor:

- Im Bereich des Werkzeugmaschinenbaus befinden sich die Technikhersteller generell im Schnittpunkt eines vielfältigen Beziehungsgeflechts von eigenen Zulieferern, außeruniversitären Forschungsinstituten, Hochschulen, institutionel-

---

17 Man vergesse aber nicht die aktive Rolle der Verbraucherschutzverbände, der Testzeitschriften, des ADAC u.ä., die stellvertretend aktiv werden und das Urteil des Konsumenten beeinflussen, bevor das Produkt ihn erreicht. Auch hier ist also die sogenannte Marktselektion längst institutionell strukturiert. Diese Struktur bildet daher keine Ausnahme, sondern markiert den Typus eines schwachen Netzwerkes.

18 Vgl. dazu die Fallstudien in Marin, Mayntz 1991.

len Arrangements mit staatlichen Forschungsstrukturen (z.B. im Programm Fertigungstechnik des BMFT), Ingenieurbüros, Systementwicklern, Normungsausschüssen und Verwendern. Wie in den empirischen Beispielen im vorhergehenden Kapitel gezeigt, ist die Bewältigung von Innovation eine Herausforderung, die nur in gemeinsamen Lernprozessen zwischen den vernetzten kollektiven Akteuren vorangetrieben werden kann.

- Die Entwicklung der Gentechnik z.B. in der Lebensmittelherstellung ist verwoben in einem Netz von kritischen Umwelt- und Verbraucherverbänden, Umweltinstituten, EG-Kommissionen, wissenschaftlichen Experten und Gegenexperten, gesetzlichen Ge- und Verboten, Genehmigungsverfahren und Parteienstreits, etc. So ist beispielsweise eine gentechnisch veränderte Hefe des englischen Unternehmens Gist brocades, die Ende 1988 in Großbritannien genehmigt wurde, aufgrund mangelnder Akzeptanz bis heute nicht vermarktet worden; in der Schweiz wurde durch den Verband der Schweizer Käseunion den Mitgliederbetrieben empfohlen, kein gentechnisch hergestelltes Chymosin für die Käseproduktion zu verwenden, und in NRW hat das Umweltministerium Anfang 1993 dem Unternehmen Gist brocades den Vertrieb dieses Chymosins verboten. (Vgl. Schneider 1993)
- Im Bereich der Entsorgungstechniken (Müllverbrennung, Mülldeponierung, regionale Entsorgungsmodelle für Haushalte und Industrie) gibt es vermehrt Beispiele, wie durch neue Verhandlungsgefüge zwischen den beteiligten und betroffenen Akteuren Lösungen erzielt werden können, die für die heterogenen Interessen ein erträglicher Kompromiß sind, den zeitlichen Planungshorizont nicht durch rechtliche Einwendungen verschieben und technologisch avancierte Lösungen privilegieren. *Mediation* ist ein Verfahrenstypus, der hier in den letzten Jahren entwickelt und mit unterschiedlichem Erfolg erprobt wurde. (Vgl. Gaßner u.a. 1992; Herbold, Krohn, Weyer 1991)
- Am Beispiel der Biotechnologie zeigen Powell et al. (1996), daß gerade diejenigen Unternehmen, die die intensivsten Kooperationen aufwiesen, innerhalb der letzten fünf Jahre die meisten Produkte marktreif entwickelten, die größte Marktbewertung hatten, eine hohe Zentralität aufwiesen und am meisten experimentierten.

- Mayntz, Schneider (1995) verweisen auf große nationalspezifische Unterschiede zwischen England, Frankreich und Deutschland bei der Entwicklungsdynamik von BTX-Systemen (Telekommunikation). Die Gründe für diese Unterschiede vermuten sie im komplexen und kontingenten Verhältnis von "*technischer Gelegenheitsstruktur und ihrer sozio-politischen Ausschöpfung*" (120), insbesondere in der unterschiedlichen institutionellen Strukturierung des Entscheidungshandelns. Der relevante institutionelle Kontext ist aber "*nicht mehr (nur) die einzelne Organisation, in der Erfinder, Konstrukteure usw. agieren, sondern das Netzwerk der auf der Mesoebene handelnden korporativen Akteure.*" (115)
- Neuartige Formen der Unternehmenskooperation werden auf den Gebieten von FuE, Joint ventures, Technology exchange, Hersteller-Anwender-Beziehungen, Hersteller-Zulieferer-Beziehungen bis hin zu Lizenznahmen herausgestellt. (Vgl. DeBresson, Amese 1991; Freeman 1991 und Scott 1991). Es existieren kaum Unternehmensbereiche, die nicht durch wachsende empirische Belege für neuartige Kooperationsformen gekennzeichnet werden können: "*Today, companies in a wide range of industries are executing nearly every step in the production process, from discovery to distribution, through some form of external collaboration.*" (Powell et al. 1996: 116)[19]
- Schmidt (1993) verweist auf die innerhalb von zwei Dekaden vollzogene rasante Zunahme von FuE-Kooperationen im Innovationsverhalten der deutschen Wirtschaft: Von den FuE betreibenden Unternehmen wiesen 1971 fast 10% Kooperationen aus, 1985 waren dies über 20% und 1992 knapp unter 50%. Hagedorn (1995) zeigt, daß es in den achtziger Jahren weltweit eine signifikante Zunahme an Unternehmenskooperationen in den Branchen Chemie, Luftfahrt und Verteidigung, Automobil- und Elektroindustrie gegeben hat. Auch in den Branchen Biotechnologie, Informationstechnologie und neue Werkstoffe ist eine hohe Intensität von Unternehmenskooperationen zu beobachten. "*Exploring technological complementarities of companies through inter-firm cooperation becomes a viable and necessary option in a world of increased international competition and rapid technological change.*" (225)

---

[19] Vgl. auch: Hagedoorn, Schakenraad (1990); Hagedoorn (1995).

Der Vielfalt empirischer Erscheinungsformen stehen unterschiedliche theoretische Versuche gegenüber, diesen Wandel kategorial zu erfassen. Diesen Bemühungen verdankt sich die erstaunliche Karriere des Begriffs *Netzwerk* in der soziologischen, ökonomischen und innovationstheoretischen Literatur. Die empirischen Beispiele für die vernetzungswirtschaftlichen Strukturierungen der Beziehungen zwischen Technikentwicklern und -nutzern, die Entstehung von Akteurkonfigurationen in Bereichen öffentlicher Infrastrukturtechnik und die Beteiligungsverfahren in der Erzeugung, Normierung und Implementation dieser Techniken führen zu der Frage zurück, inwieweit diese Kooperationsformen als neuartig angesehen werden können, so wie es die Rede von den Innovationsnetzwerken "*als neue Form der Sozialintegration*" nahelegt.

3. Innovationsnetzwerke - theoretische Merkmale

Wenn, wie herausgestellt, weder Marktantizipationen noch technologische Entwicklungsmöglichkeiten aufgrund der inhärenten Unsicherheiten hinreichend für eine erfolgreiche Innovations- und Implementationspraxis sind, muß die weitere Analyse Aufschluß darüber geben, wie wachstumsträchtige Märkte und erfolgversprechende Produkte identifiziert werden können. Die eigenen empirischen Analysen haben gezeigt, daß die Technikhersteller und -verwender des ausgewählten Samples in sehr engen Kooperationsbeziehungen gemeinsam innovative Problemlösungen erzeugen. Selbst für den auf einem anonymen Massenmarkt operierenden Serienfertiger (Unternehmen III) konnte gezeigt werden, daß die Identifizierung wachstumsträchtiger Märkte und erfolgversprechender Produkte durch die *Konstruktion eines repräsentativen Verwendungskontextes* und die anschließende Suche nach einem Pilotanwender, der möglichst viele der gewünschten Merkmale aufweist und hinsichtlich des Know-how-Schutzes als hinreichend vertrauenswürdig eingeschätzt wird, zentrale Elemente seiner Innovationsstrategie sind. Diese Kooperationsformen zwischen Herstellern und Verwendern neuer Technik wurden bislang vorläufig als Innovationsnetzwerke bezeichnet. Nun sollen die Strukturmerkmale dieser Innovationsnetzwerke diskutiert werden. Zuvor muß nochmals darauf verwiesen werden, daß das empirisch untersuchte Feld des Werkzeugmaschinenbaus nur eines unter vielen technologiebasierten Innovationsbereichen ist. Doch kann bei der weiteren Plausibilisierung der Konzeption darauf rekurriert werden, daß praktisch in allen Bereichen sogenannter neuer Techniken sehr heterogene Akteure mit unterschiedli-

chen Interessen, Ressourcen und Einflußmöglichkeiten an der Herstellung, Nutzung und Regulierung beteiligt sind und daß das Management von Unsicherheit allgemein ein Zentralproblem von Innovationsprozessen bildet. Betont werden muß allerdings, daß die Problem- und Akteurkonstellationen in unterschiedlichen Technisierungsprojekten aufgrund unterschiedlicher struktureller Bedingungen (Produkte-Kunden, Branchenunterschiede, regionale Differenzierungen, etc.) stark variieren können. Zukünftige Untersuchungen zu Innovationsnetzwerken in unterschiedlichen Branchen, Regionen etc. bleiben deshalb auf eine eigenständige Designentwicklung verwiesen.

3.1 Der soziale Strukturaufbau von Innovationsnetzwerken: Vertrauensbasierung

Es wurde schon mehrfach darauf verwiesen, daß in einem modernen Sinne Innovationen nicht von Einzelerfindern, sondern von korporierten Akteuren hervorgebracht werden und daß mit den veränderten Rahmenbedingungen industrieller Modernisierungsprozesse (Globalisierung, Informatisierung, usw.), die eine Auflösung homogener Massengüter und -märkte hervorgebracht haben, die Bezugspunkte von Innovation, die Technologie- und die Marktentwicklung, intransparenter und komplexer werden. Damit verbindet sich das Dilemma für die an der Erzeugung von Innovationen beteiligten Akteure, die sich selbstverstärkende Informationskomplexität in den Märkten, technologischen Entwicklungslinien, internationalen Währungsverschiebungen, nationalen und internationalen Regelungen und nicht zuletzt in den Veränderungen von Standortvorteilen und -nachteilen zu registrieren, daraus aber nicht genügend Information und Impulse beziehen zu können, um eigene Innovationsentscheidungen technologisch, finanziell und organisatorisch voranzutreiben.

Innovationen beruhen auf Entscheidungen darüber, Trends zu initiieren und sich beobachteten Trends zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt anzuschließen oder anzupassen. Korporierte Akteure können Innovationen in organisationalen Feldern beobachten, ohne selbst Innovationen hervorzubringen. Sie können mit Innovationen zu früh oder zu spät aufwarten, d.h. sie können einerseits Modernisierungspioniere sein, die auf die schwachen Anfangssignale eines Trends setzen, der vielleicht gar nichts wird, oder sie warten ab, bis es möglicherweise zu spät ist. Innovationsentscheidungen von Technikherstellern sind ebenso wie Investitionsentscheidungen von Technikver-

wendern typischerweise im risikosoziologischen Sinne symmetrisch belastet durch die Risiken des Handelns und des Nichthandelns. (Vgl. Japp 1996) Zu Modellierungszwecken soll nun gefragt werden, was passiert, wenn etwa Technikentwickler erst dann in eine neue Technik (z.B. eine Werkzeugmaschine) investieren, wenn ihnen die Marktbeobachtung entsprechende Signale des Bedarfs gibt, andererseits aber die Verwender das Risiko einer Investitionsentscheidung scheuen, bevor sich die Zukunftschancen der neuen Technik nicht abzeichnen. In diesem Fall würde eine klassische Blockadesituation vorliegen, die nicht durch wechselseitige Beobachtung überwunden werden kann - aber wie dann?

Die Symmetrie doppelten Nichthandelns zugunsten von Innovations- und Investitionsentscheidungen aufzubrechen, setzt einen sozialen Mechanismus voraus, der den Aufbau risikoentlastender und unsicherheitsreduzierender Innovationsnetzwerke - verstanden als Aufbau eines sozialen Hersteller-Verwender-Kontextes, in dem der Verwendungskontext einer Technologie zusammen mit dieser entworfen wird - ermöglicht. Der Mechanismus, über den die Unsicherheitsreduktion angestrebt wird, besteht in der rekursiven Koppelung zwischen heterogenen Akteuren. Die rekursive Koppelung vollzieht sich durch den Aufbau von Vertrauensbeziehungen (*trust relations*), die durch wechselseitige Erfahrungen und gegenseitigen Know-how-Transfer über längere Zeiträume und wechselnde Situationen allmählich stabilisiert werden. Die Kategorie der vertrauensbasierten Kooperation ist von zentraler Bedeutung: Vertrauen bindet, ohne im formalen Sinn zu verpflichten.

Als allgemeiner Anknüpfungspunkt für die Einführung der soziologischen Vertrauensproblematik dient hier das basale soziale Phänomen doppelter Kontingenz.[20] Doppeltkontingente Handlungssituationen liegen vor, wenn in symmetrischer Form für *Alter* und *Ego* prinzipiell gleiche Unsicherheit besteht. (Vgl. Luhmann 1984: 177) Dieses Problem ist virtuell immer gegeben, wenn *Alter* auf *Ego* trifft und diesem Wahl-

---

20 In der soziologischen Vertrauenstheorie wird Vertrauen auf die Beziehungen zwischen Akteuren begrenzt: wenn Vertrauen eingesetzt wird, wird Handeln beeinflußt. (Gambetta 1988) Ausgeschlossen sind demnach Fälle, in denen Vertrauen Entscheidungen unbeeinflußt läßt, etwa das Vertrauen darauf, daß das Wetter gut wird, kein Unglück passiert usw. Luhmann (1988) unterscheidet deshalb zwischen *trust* und *confidence*.

freiheit unterstellt werden kann. Die erforderliche Lösung des Problems doppelter Kontingenz[21] kann nur durch einen Symmetriebruch herbeigeführt werden, denn:

> "*Als Symmetrie ist sie ein in sich selbst zurücklaufendes Problem ... Das Problem stellt sich symmetrisch, die Problemlösung wird über Asymmetrisierung in die Wege geleitet, und Konsens bzw. Dissens sind dann Ergebnisse: Re-Symmetrisierungen.*" (Ebd.: 177)

Wie kann ein solcher Symmetriebruch erreicht werden? In einer doppeltkontingenten Situation kann *Alter* versuchsweise irgendeine geringe Vorleistung erbringen, und dann beobachten, wie *Ego* reagiert. Unabhängig davon, wie *Ego* reagiert, handelt es sich bei den folgenden Handlungssequenzen um einen kontingenzreduzierenden Vorgang. *Alter* kann sich ermuntert fühlen oder enttäuscht sein, die Kommunikation abbrechen oder fortsetzen, die Folgen sind selbst wiederum kontingent:

> "*Eine der wichtigsten Folgen doppelter Kontingenz ist die Entstehung von Vertrauen bzw. Mißtrauen.*" (Luhmann 1984: 179)

Wegen der Allgegenwart sozialer Kontingenz wird Vertrauen in unterschiedlichsten Koordinationsformen anzutreffen sein. Grundsätzlich setzen auch reine Marktbeziehungen ein Mindestmaß an Vertrauen voraus, z.B. in der Form, daß Verträge eingehalten werden, da sie für beide Vertragspartner einen Vorteil besitzen. Allerdings läßt man sich auf riskante Entscheidungen vor allem deshalb ein, da Enttäuschungen über Vertragsabweichungen mit Sanktionen belegt werden können. Für diesen Fall kann darauf vertraut werden, daß beispielsweise Regreßforderungen gerichtlich durchgesetzt werden können. In beiden Fällen kann man von *institutionellem Vertrauen* (in den Marktmechanismus oder die Unabhängigkeit der Rechtsprechung etc.) aber auch in Anschluß an Luhmann von *Systemvertrauen* (1968: 44ff.) sprechen. Das Vertrauen bezieht sich in den genannten Fällen darauf, daß die jeweiligen Systeme ihren funktionalen Erwartungen gerecht werden.

Auch hierarchische Koordinationsformen setzen ein Mindestmaß an Vertrauen voraus. Im allgemeinen wird die soziale Koordination in Hierarchien zwar durch unter-

---

21 Ohne eine Lösung des Problems doppelter Kontingenz wäre soziale Ordnung nicht möglich, unabhängig davon, ob man annimmt, daß diese Lösung in der Sozialdimension (etwa über Werte) oder in der Zeitdimension (etwa über riskante Investition) angestrebt wird. Deshalb bezeichnet Luhmann (1984) Vertrauen als einen "*universellen sozialen Tatbestand*". (181)

schiedliche Formen von Kontrolle gelöst (Vgl. Edwards 1981), doch für komplexe Abstimmungsprozeduren zwischen Partialinteressen innerhalb von Organisationen galt schon immer, daß sie nicht durch Anweisungsprinzipien allein erreichbar sind.[22] Das ist in der Regel in den Bereichen des mittleren Managements der Fall, wo die Definition der zu erbringenden Leistung selbst zur Arbeitsaufgabe gehört. Insbesondere jenseits routinisierter und standardisierter Produktionsprozesse läßt sich durchaus auch in tayloristischen Organisationen - etwa bei der Lösung des "*Innovationsdilemmas*" (vgl. Rammert 1988) - ein Mindestmaß an Vertrauen finden. Vertrauen basiert hier u.a. auf Status- und Karriereorientierungen, in der Sprache von Blau (1974) auf *social exchange* gegenüber einem *economic exchange*. Und in dem Maße, wie Unsicherheit, Unvorhersehbarkeit und Komplexität das wirtschaftliche Handeln bestimmen, wachsen die Anforderungen an die Beschäftigten, so daß eng definierte Vorgaben für die Leistungserbringung und deren Kontrolle sich tendenziell ausschließen. (Vgl. auch Heisig, Littek 1995) Dies entspricht den empirischen Ergebnissen, wonach innerbetriebliche Kooperationsprozesse - etwa zwischen Technikern und Facharbeitern im Innovationsprozeß - durch wechselseitiges Vertrauen geprägt sind. Ohne ein Mindestmaß an Vertrauen würden die Kommunikations- und Kooperationsprozesse, die als Voraussetzung für die Bewältigung unsicherheitsbelasteter Innovationsprozesse angesehen werden, nicht funktionieren. (Vgl. Kap. IV, 2)

Unter den gegenwärtigen Bedingungen der Herausbildung vernetzungswirtschaftlicher Strukturen, gewinnt der Begriff Vertrauen eine über die organisationsinternen und Marktbeziehungen hinausgehende Bedeutung. Meine These hier lautet, daß die neuen Formen der sozialen Koordination von Innovationsprozessen in einem sehr viel stärkeren Maße die Option Vertrauen nutzen und auch benötigen, als dies zur Zeit homogener Massenmärkte bei gleichzeitiger Anbieterdominanz notwendig war.[23] Für die wachsende Bedeutung dieser Kooperationsformen lassen sich mehrere Gründe anführen: Erstens übersteigt die Verkürzung der Produktlebenszyklen die gegenwärtige Anpassungskapazität einer einzelnen Organisation, zweitens wächst die Bedeutung für einen ver-

---

22 Vgl. dazu das Konzept "*responsible autonomy*" bei Friedman 1977.

23 Die Strategie der fordistischen Massenproduktion war erfolgreich in einer Zeit, in der "*the pace of technological change was relatively slow, production processes were well understood and standardized, and production runs turned out large numbers of similar products.*" (Powell 1990: 319)

besserten Technologietransfer zwischen verschiedenen Technikherstellern und einem Technikverwender in den Fällen, wo zusammenlaufende Technologielinien Kompatibilität erfordern, drittens bezieht sich die gegenwärtige technische Entwicklung weniger auf die Anwendung einzelner Produkte, sondern auf die Integration einer Vielzahl von unterschiedlichen neuen Produkten und Prozessen innerhalb neuer sozio-technischer Verwendungskontexte und viertens dienen neuartige Kooperationsbeziehungen dazu, die Evolution sozio-technischer Alternativen mitzugestalten. (Vgl. Grabher 1993: 13)

Der hier interessierende Vertrauensbegriff zielt nun anders als die genannten Kategorisierungen eines institutionellen und systemischen Vertrauens oder des zur Schließung von *Ungewißheitszonen* in hierarchischen Organisationen gewährleistenden Funktionsvertrauens auf den Aufbau der reziproken Struktur von Innovationsnetzwerken zwischen mehreren korporierten Akteuren, deren Ziel der Gewinn von Innovativität bzw. die Reduzierung von Kontingenzen ist. Bezugspunkt ist eine *doppelkontingente Risikosituation*, wobei dem Vertrauensrisiko der Kooperationsgewinn gegenübersteht.

Soll also eine vertrauensbasierte Kooperation entstehen, muß das Risiko eines Handelns in einer doppeltkontingenten Handlungssituation Aussicht auf einen Zusatzgewinn versprechen. Einem erwartbaren Zusatzgewinn durch Vertrauensinvestition kann aber Illoyalität bzw. Opportunismus gegenüberstehen, so daß Vertrauen und Mißtrauen als gleichermaßen mögliche Strategien angesehen werden könnten. Trifft dies zu? Die Prüfung der Reichweite der Option Mißtrauen zeigt, daß zwar kein besonderer Verlust entstehen kann, andererseits aber auch kein kooperativer Gewinn.[24] Gegenüber der Option Mißtrauen hat deshalb die Option Vertrauen die größere Reichweite, denn diese Option beinhaltet eine starke Erweiterung des Handlungspotentials heterogener Akteure, da diejenigen, die diese Option benutzen, schwerer enttäuscht werden können:

> "*Vertrauen ist die Strategie der größeren Reichweite. Wer Vertrauen schenkt, erweitert sein Handlungspotential beträchtlich. Er kann sich auf unsichere Prämissen stützen und dadurch, daß er dies tut, deren Sicherheitswert erhöhen; denn es fällt schwer, erwiesenes Vertrauen zu täuschen (...). So wird ein größerer Kombinationsspielraum, also auch mehr Rationalität in der eigenen Verhaltenswahl zugänglich.*" (Luhmann 1984: 180)

---

24 Nach Gambetta (1988) hat die Spieltheorie zwar ein besseres Verständnis dafür ermöglicht, warum Kooperation nicht gewählt wird, obwohl die meisten Akteure durch Kooperation individuell gewinnen würden, doch ist sie nicht sehr hilfreich gewesen, zu erklären, warum Akteure viel häufiger Kooperationsformen wählen, als es die Spieltheorie voraussagt. (Vgl. Gambetta 1988: 216f.)

In diesem Vorteilswert - dem möglichen Kooperationsgewinn - kann man die Genese von Vertrauen verorten. Da Vertrauen weder rechtlich noch voluntaristisch erwirkt werden kann, es freiwillig erwiesen werden muß[25], also kontingent ist, erlangt eine Vertrauensinvestition erst dann einen Gewinn, wenn es zu einer rekursiven Schließung kommt. Ich vertraue dir, weil du mir vertraust. Diesen Zusammenhang zwischen Vertrauen und sozialer Strukturbildung in doppeltkontingenten Risikosituationen beschreibt Luhmann als eine Möglichkeit evolutionärer Leistungssteigerung:

> "*Vor allem aber hat Vertrauen jenen zirkulären, sich selbst voraussetzenden und bestätigenden Charakter, der allen Strukturen eigen ist, die aus doppelter Kontingenz entstehen. Es macht Systembildung möglich und gewinnt aus ihnen dann wieder die Kraft zu verstärkender, riskanterer Reproduktion.*" (Luhmann 1984: 181)

Die Voraussetzungen für den risikobelasteten Symmetriebruch sind ein bestimmter Grad an Freiwilligkeit der Entscheidung und ein erwarteter Zusatzgewinn. Während Luhmann vor allem die besondere Bedeutung der Zeitdimension und der Sequentialität des Handelns für den Aufbau sozialer Beziehungen hervorhebt, soll hier auf eine weitere Grundlage für den Vertrauensaufbau aufmerksam gemacht werden, die in der Sozialdimension verankert ist: *Reputation.* Reputation kann als soziale Attribution verstanden werden, die in der Vergangenheit erworben wurde und für Zukunftsprojektionen genutzt wird. Im Kontext von zwischenbetrieblichen Innovationsprozessen riskieren beispielsweise Verwenderunternehmen (*Alter*) aufgrund der Reputation eines Technikherstellers (*Ego*) eine (Rationalisierungs-)Investition; man vertraut darauf, daß ein renommiertes Unternehmen funktionsfähige Lösungen des Rationalisierungsproblems erzeugen kann und Mißerfolg vermeiden wird. Reputation bildete beispielsweise im Innovationsfall I den Hintergrund für den Auftrag an das Unternehmen I. Der Technikverwender I_1 vertraute aufgrund der zurückliegenden guten Erfahrungen sowie der Reputation des Technikherstellers darauf, daß die zugesagten Leistungsanforderungen erfüllt werden. Im Abschluß von Verträgen kann eine institutionelle Rahmung der Vertrauensbeziehungen gesehen werden; für einen potentiellen Vertrauensmißbrauch wird damit eine (latente) Sanktionsandrohung institutionalisiert.

In allen Innovationsfallstudien konnten Formen einer *Vertrauensspirale* gefunden werden; selbst im Fall des Mißerfolgs von Unternehmen I setzte der Partner noch auf

---

25 Vertrauen, das käuflich erworben werden muß, zählt nur wenig.

die Option Vertrauen, gewährte also Vorzugsbehandlung. Während nun die Serienhersteller bei der Auswahl ihrer Pilotanwender darauf achten, daß sie *kritisch* sind, "*von der Anwendung viel verstehen*" und "*offen die Probleme sagen und zwar uns und nicht dem Wettbewerb*" (Hersteller III, Ingenieur, 30) versuchen die segmentspezifischen Sondermaschinenbauer mit ihrer Reputation, d.h. insbesondere mit Referenzkunden, die Vertrauensspirale in Gang zu setzen.

Die Technikverwender wiederum gewähren Vertrauen in der Hoffnung auf Konkurrenzvorteile. Die Aspekte des Vertrauens beziehen sich dabei auf die *Verläßlichkeit* eines Partners bei der Realisierung riskanter Entwürfe, die *Diskretion* beim Informationstransfer sensitiver Daten[26] und die Einschätzung seiner *Kompetenz* für das gemeinsame Projekt. Der Option auf Vertrauen in Verläßlichkeit, Diskretion und Kompetenz liegt kein Ja-Nein-Algorithmus zugrunde.[27] Vielmehr sind Mechanismen des schrittweisen und kontrollierten Aufbaus von Vertrauensspiralen zu beobachten. Besonders illustrativ ist die im Innovationsfall II beschriebene *präkontraktuelle Phase*, die als Aufbau eines Innovationsnetzwerkes analysiert wurde. In dem genannten Beispiel ist zu beobachten, daß der ersten Vertrauensinvestition eine genaue Beobachtung der potentiellen Partner vorhergeht. Es geht um Vorinformationen über die Verläßlichkeit, Diskretion und Kompetenz eines Partners. Von großer Bedeutung ist der Rückgriff auf Erfahrungen bei zurückliegenden Projekten. Erfolgreiche Episoden vertrauensbasierter Kooperation zeichnen den Partner als verläßlich aus. Im Vordergrund steht nicht die Minimierung von Transaktionskosten, sondern die Reduktion von Unsicherheit in der Erzeugung der innovationsrelevanten Anfangsbedingungen eines gemeinsamen Projekts. Die ökonomische Bewertung von Innovationen erfolgt erst ex post, deshalb kann eine transaktionskostentheoretische Betrachtung die Genese von Kooperation allein nicht erklären.

Eine weitere wichtige Größe der Vertrauensbasierung sind schließlich die Signale personenzentrierter informeller Kommunikation, über die wechselseitige Verpflichtun-

---

26 Dies ist insbesondere wichtig, wenn ein Technikanwender vermeiden will, daß über den Technikhersteller frühzeitig Know-how (Informationen über eigene Innovationsabsichten, Konstruktionspläne, Detailentwürfe etc.) an Konkurrenten transferiert wird.

27 Vertrauen und Mißtrauen können eher auf einem Kontinuum verortet werden, wobei dann unterschiedliche Werte - von blindem Vertrauen bis zu vollständigem Mißtrauen - denkbar sind.

gen aufgebaut werden ("*facework commitment*"[28]). Bei günstigen Konditionen dieser Art kann sich eine selbstverstärkende Vertrauensbeziehung aufbauen. Wechselseitig wird dann beobachtet, welches Handeln als vertrauenswürdig akzeptiert wird (z.B. Preisgabe von Konstruktionsdaten, strategische Informationen, finanzielle Vorleistungen). Es bilden sich Verhaltensregeln im Netzwerk heraus, deren Beachtung wechselseitig beobachtet wird (z.B. Suche nach produktiven Lösungen bei Vertragsproblemen anstatt Rechtsklärungen). Schließlich kann es auch zu Erweiterungen der Vertrauensbeziehungen auf Dritte kommen (Stärkung des Netzwerkes durch Transitivität des Vertrauens).[29]

Beachtenswert ist, daß die Dynamik der Vertrauensspirale auch in umgekehrter Richtung beobachtet wurde (im Innovationsfall I). Die Zweifel an der Verläßlichkeit, Diskretion und Kompetenz des Partners führten im genannten Beispiel nicht automatisch zum Abbruch der Netzwerkbeziehung, sondern zu erhöhter Aufmerksamkeit und kritischer Beobachtung der Aktivitäten des Technikherstellers durch den Anwender. Man nutzte die Vertrauensbeziehung zwar weiterhin, indem Vorzugsbehandlung gewährt wurde, aber es entstand auch eine Mißtrauensdynamik, die nur durch verstärktes Engagement des Technikherstellers und Entgegenkommen des Technikanwenders aufgehalten werden konnte. (Vgl. Kap. IV, 3)

Als Zwischenresümee soll festgehalten werden: Austausch- und Informationsprozesse in Netzwerken werden weder durch vereinzelten, abrechenbaren Tausch noch durch administrativen Beschluß vollzogen, sondern basieren auf Vertrauensbeziehungen, in denen diese Prozesse von reziprokem Wert sind und die Partner auf Vorzugsbehandlung und Hilfestellungen rechnen können. Weder Marktkriterien noch Anweisungsprinzipien von hierarchischen Organisationen, sondern die wechselseitige Abhängigkeit von den Ressourcen, die der jeweils andere kontrolliert, sind maßgeblich. Während in Märkten die Handlungskoordination von Herstellern und Nutzern spontan und zufällig erfolgt und in Hierarchien formale-bürokratische Koordinationsformen bevorzugt werden, nutzen Netzwerke relationale, diskursive Formen der Handlungskoordination von wechselseitigen Interessen mit dem Ziel, eine gemeinsame Orientierung und Sprache zu finden. Die Konfliktregulierung in Netzwerken ist zunächst

---

28 Vergleiche die Unterscheidung von "*faceless commitments*-" und "*facework commitments*"-Beziehungen bei Giddens (1990: 87).

29 Vgl. hierzu Sydow 1993.

darauf abgestellt, das Potential an Vertrauen und damit die Investitionen an Zeit und Personal nicht zu gefährden. In der Sprache von Hirschmann ist daher die "voice"-Option typisch. Auf der anderen Seite droht wegen des formal offenen Charakters der Netzwerke immer auch die "exit"-Option, der Rekurs auf die Bedingungen des Marktes. Praktisch heißt dies etwa, daß bei Vertragsproblemen zunächst, anstatt einer Schuldzurechnung mit langen juristischen Wegen und empfindlichen Störungen der Kooperation ein sachlich produktiver Ausweg gesucht wird, beispielsweise durch Vorzugsbehandlung oder *Kredit* im Sinne von Luhmann[30]; aber dennoch bleibt subsidiär das bürgerliche Recht mit der Einklagung von Lieferfristen und Leistungsspezifikationen virulent.[31] Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Formen ökonomischer und sozio-technischer Handlungskoordination, durch den die Charakteristika von Innovationsnetzwerken nochmals hervorgehoben werden.

Abbildung 3: Formen ökonomischer und sozio-technischer Handlungskoordination

Koordinationstyp	Markt	Hierarchie	Netzwerk
Koordinationsmittel	Tausch/Preise	Anweisung/Routine	Vertrauensbasierung/-Reziprozität
Koordinationsform	spontan, zufällig	formal, bürokratisch	relational, diskursiv
Faktorspezifität	niedrig	mittel, hoch	hoch
Akteurbeziehungen	Unabhängigkeit Verträge	Abhängigkeit Mitgliedschafts-rolle	Interdependenz, wechselseitige Inter-essen
Konfliktregulierung	bürgerliches Recht, Konven-tionalstrafen	exit-option, Macht	voice-option, Einfluß, Aushandlung

30 "*Als Kredit wird die Rekursivität des Vor- und Zurückgreifens der Kommunikation in den Kommunikationsprozeß selbst wiedereingeführt.*" (Luhmann 1990: 238)

31 Bei Netzwerken, die aus der Einführung von Marktelementen in Organisationen entstehen, bleibt entsprechend der Rückgriff auf Entscheidungsvollmachten virulent.

3.2 Innovationslernen

Wie herausgestellt bildet das (innovationsrelevante) Management von technologischer Unsicherheit und Marktintransparenz das axiale Prinzip moderner Innovationsprozesse. Innovationsnetzwerke sind in diesem Zusammenhang Gelegenheitsstrukturen zur kooperativen Bearbeitung der genannten Unsicherheiten.

Die Technikgeneseforschung hat gezeigt, daß Entwicklung und Verwendung technischer Artefakte nicht im Sinne eines Versuchs-Irrtums-Verfahrens dem biologielastigen Schema von Variation und Selektion, sondern einem zwischen Herstellern, Verwendern und Kontextbildnern koordinierten Gestaltungsprozeß folgt. Dieser Gestaltungsprozeß bezieht sich gleichermaßen auf die soziale Konstruktion neuer Artefakte wie auf den Aufbau von Verwendungskontexten. Innovationsnetzwerke leisten den kooperativen Entwurf von Nutzungsvisionen für Artefakte und unterwerfen sie in rückgekoppelten Lernprozessen Eignungstests. Deshalb sind Pilotanwendungen immer auch Pilotmärkte, die auf Ausweitung angelegt sind.[32] Im folgenden richtet sich das Interesse besonders auf diese Prozesse der Rückkoppelung zwischen Technisierungsentwürfen und Technisierungspraxis, also auf Lernprozesse, die sich zwischen Herstellern und Verwendern und möglicherweise weiteren Akteuren abspielen. Ebenso wie Einzelorganisationen das Verhältnis von Spezialisierungseffekten und Synergievorteilen ausbalancieren müssen, stellt sich für die Innovationsnetzwerke die Anforderung, das Verhältnis von Autonomie (Eigenleistungen) und Kontext (fokale Organisation) zu regulieren. Daher müssen auch Prozesse des organisationalen Lernens und Verlernens betrachtet werden.

In der evolutionären Innovationstheorie wird die Umwelt der innovierenden Unternehmen als Selektionsinstanz (*selective environment*) angesehen, die aus einer Anzahl technischer Lösungen bestimmte auswählt. Dieser Annahme liegen ein ungenügend elaborierter Technikbegriff und ein schwacher Organisationsbegriff zugrunde. Weder werden technische Variationen aus der rekursiven Prozeßdynamik technikerzeugender und -verwendender Sozialsysteme erklärt noch werden Beharrungstendenzen auf Organisationsstrukturen zurückgeführt, sondern mit Paradigmata und Trajektorien erklärt. (Vgl. Kap. II) Demgegenüber dient der Begriff *Innovationslernen* dazu, techni-

---

32 Mit einem Konfliktpotential zwischen Hersteller (ausweitungsorientiert) und Anwender (an der Ausnutzung von Zeitgewinnen der privilegierten Verwendung interessiert).

schen Wandel als Evolution technikerzeugender-, -verwendender und -regulierender Sozialsysteme zu analysieren. Als evolutionärer Mechanismus der Technikentwicklung - so die These - fungiert nicht die *blinde Variation*, sondern das *Innovationslernen* in Kooperationszusammenhängen. *Innovationslernen* schließt das Verlernen von veraltetem Wissen ein, denn gerade Erfolg verschlechtert zunächst die Bedingungen für neues Lernen und unterliegt potentiell konservativer Festigung. (Vgl. auch: Probst, Büchel 1994) Der Begriff des *Innovationslernens* wird nun in den folgenden drei Dimensionen entwickelt:

- interaktives Lernen,
- organisationales Lernen,
- reflexives Lernen.

3.2.1 Interaktives Lernen

In Anschluß an Arbeiten Rosenbergs (1975; 1982) werden in der modernen Innovationsforschung inkrementale Verbesserungen und Optimierungen sowie *Pfadabhängigkeiten* technischer Entwicklungslinien auf *kumulative Lerneffekte* zurückgeführt. Zukünftige Erfolge bauen auf vergangenen auf, betriebliche Innovationsprozesse, branchenspezifische Technologietypen oder innovative Standorte und Regionen basieren häufig - aber nicht allein - auf solchen kumulativen Lerneffekten. Wichtig ist dabei, die verschiedenen Lernanteile und -modalitäten strukturell auseinanderzuhalten. Die Innovationsökonomie hat gezeigt, daß die Produktion einzelner Güter im zeitlichen Verlauf erheblich kostengünstiger werden kann. Zurückgeführt wird dies auf *learning by doing*-Effekte, die wohl zuerst von Arrow (1962) als *"increasing skills in production"* beschrieben wurden. Rosenberg fügte hinzu, daß ähnliche Effekte auch von den Nutzern eines neuen Produkts ausgehen, die im Gebrauch zur Geltung kommen. Die unterschiedlichen Modi von *learning by doing* und *learning by using* blieben allerdings bislang unverstanden. In einer neuen Veröffentlichung[33] zeigen von Hippel und Tyre (1995) anhand zwei empirischer Beispiele, wie im Laufe eines Jahres nach der Implementation neuer Maschinen ein besseres Verständnis der Funktionen und damit eine optimierte Produktion mit diesen Maschinen möglich wurde. Viele Probleme wurden erst im Verwendungszusam-

[33] Weitere Beispiele finden sich in Wildemann (1994) und Probst, Büchel 1994).

menhang deutlich und waren dem Technikhersteller unbekannt. Ein Grund für diese Kluft zwischen den Antizipationen des Technikherstellers und den praktischen Erfahrungen des Technikverwenders besteht in der Variation der Verwendungskontexte, die eine genaue Vorhersagbarkeit der Leistungsfähigkeit sozio-technischer Lösungen erschweren. Diese Kluft kann letztlich nur durch das (Werkstatt-)Personal des Technikverwenders - also durch *learning by using* gelöst werden. Da es sich aber aus der Sicht des Technikherstellers um eine prinzipielle Grenze der Kontrolle bzw. Antizipation relevanter Umweltbedingungen handelt, stellt sich die Frage nach der Organisation von Rückkopplungsprozessen. Darauf wird weiter unten noch eingegangen.

In der typischen Hersteller-Verwender-Dyade der technischen Innovation unterscheide ich also zunächst *learning by doing* und *learning by using*. Diesen Lernmodi entspricht das Herstellungs- und Anwendungswissen, um dessen Zusammenführung es in Innovationsnetzwerken immer geht. Dieses erfahrungsbasierte interaktive Lernen ist eine wesentliche Voraussetzung für die kontextspezifische Generierung und Einbettung von Technik in einem Verwendungskontext. Es ist u.a. abhängig von den berufsbezogenen Erfahrungen und den Kooperationsfähigkeiten der Akteure. (Vgl. Kap. IV, 2) Die auf den erfahrungsbasierten, personalen Lerneffekten (*learning by doing* und *learning by using*) beruhenden Optimierungen und technologischen Pfadabhängigkeiten sind als Folge positiver Rückkopplungen (mit entsprechenden Beschleunigungseffekten) zugleich Ausfilterungen negativer Rückkopplungen (mit entsprechenden Erfahrungsverlusten). Kritisch ist, daß diese Lerneffekte zu individuellem Wissen führen und nicht automatisch in einer Organisation oder einem Netzwerk als replizierbares Wissen zur Verfügung stehen. Erst die Formalisierung dieses Wissens in Form von Aufzeichnungen, Dokumenten und Patenten erlaubt die Replizierbarkeit durch die jeweilige Organisation. Aus implizitem Wissen wird dann explizites Wissen. Hier zeigt sich, daß Organisationen sowohl mehr Wissen als auch weniger Wissen als die einzelnen Akteure (oder Netzwerke) besitzen. Replizierbares Wissen ist personenunabhängiges Wissen, es gehört zum kollektiven "Gedächtnis" einer Organisation. Wie die empirischen Untersuchungen verdeutlicht haben, gelingt es allerdings nicht immer, solche erfahrungsbasierten Wissensbestände und Lernerfahrungen zu dokumentieren.

Wenn die rekursive Gestaltung neuer Techniken und Verwendungskontexte durch soziale Schließungsprozesse vorangetrieben wird, drohen deswegen immer auch *lock*

in-Effekte[34], deren mögliche Folgen im Risiko fehlgeleiteter Ressourcen (Verriegelungen), *sunk costs*, in der Nichtbeachtung von Präferenzenwechseln am Markt oder im Ignorieren technologisch attraktiver Alternativen der Konkurrenten gesehen werden können. Ortmann (1994) verweist in diesem Zusammenhang auf Thorsten Veblen (1915: 129), der von "*systemic obsolescence*" gesprochen hat, ein Begriff der an Aktualität nichts verloren hat, denkt man an die auf Wachstum beruhende Veralterung bestimmter verriegelter Lösungen wie beispielsweise die QWERTY-Tastatur oder die Produktion FCKW-haltiger Kühlschränke.[35] Wollen innovative Unternehmen solche Pfade verlassen (Entriegelung), entstehen sogenannte *switching costs*, die umso höher werden, je länger ein Netzwerk seine eigene Tradition ökonomisch verteidigen kann. Einen Ausweg bieten Lernstrategien, die über die erfahrungsbezogenen und interaktiven Lernmodi hinausreichen und die als *organisationales Lernen* und *reflexives Lernen* bezeichnet werden.

3.2.2 Organisationales Lernen

Neben dem Problem der Transformation und Integration des erfahrungsbasierten, lernabhängigen personellen Wissens in Organisationswissen weist Willke (1996) in Anschluß an Peter Senge (1990) auf ein weiteres Problem hin, das er als "*fundamentales Lern-Dilemma*" (178) bezeichnet; Lernerfolge stellen sich für Personen häufig dann ein, wenn "*Erfahrungen sich möglichst direkt, unmittelbar und kurzfristig auf bestimmte Ursachen beziehen lassen*" (ebd.), diese Voraussetzung ist im Kontext komplexer Organisationen und ihrer Umwelten häufig nicht gegeben, da Entscheidungen "*irgendwo in einem Chaos unübersichtlicher Verflechtungen*" verlaufen und die Beziehungen "*so komplex, zeitlich verzögert und indirekt (sind), daß sie sich einem erfahrungsgeleiteten Verstehen nachdrücklich verschließen.*" (Ebd.: 178f.) Daraus ist zu lernen, daß Orga-

---

34 Vgl. beispielsweise die Arbeiten von David (1985) zur Genese und Pfadabhängigkeit der QWERTY-Tastatur, von Knie (1989; 1994) zum "*konstruktiven Konservativismus*" und die Beispiele in Ortmann (1994: 90) sowie die diversen Untersuchungen aus dem Umfeld der *Evolutionären Ökonomie* (Nelson, Winter 1982; Dosi 1988; Anderson, Tushmann 1990).

35 Vgl. zur QWERTY-Tastatur (David 1985), zur *Entriegelung* des Produktionspfades FCKW-haltiger Kühlschränke Krupa (1994).

nisationen neben dem erfahrungsgeleiteten Lernen zur Erhaltung ihrer Innovativität auch organisationale Strukturen benötigen, in denen

> "*das Lernen der Mitglieder und das Lernen der Organisation sich wechselseitig stützen: 'Organizations learn only through individuals who learn. Individual learning does not guarantee organizational learning. But without it no organizational learning occurs' (Senge 1990, S. 139)*" (Willke 1996: 179)

Dies ist das Thema der organisationssoziologisch inspirierten Literatur, die fragt, wie Lernen *in* und Lernen *von* Organisationen möglich ist. Aus den zahlreichen Konzeptionen zum organisationalen Lernen[36] sollen hier nun die für das Innovationsproblem relevanten Aspekte weiterverfolgt werden.

Die Institutionalisierung des aus *learning by doing* und *learning by using* stammenden Wissens kann in Anlehnung an einen Vorschlag von Wiesenthal (1995) auch als Modus des konventionellen Organisationslernens beschrieben werden. Da es sich hierbei in der Regel um retrospektive Anpassungsleistungen an unsichere Umwelten handelt, haftet diesem Lerntypus ein konservativer Zug an. Das Lernen auf der Grundlage vergangenen Erfolgs kann täuschen, und nur ein *Verlernen* des *wie bisher* bietet die Chance, neue Trends zu initiieren oder zu den Frühadaptoren zu gehören. Unter dem Gesichtspunkt der Innovationstätigkeit benötigen Unternehmen gerade für hohe Erfolgsraten besondere Problemsensibilitäten. Denn wo nur bestehendes Wissen bewahrt wird, wird Lernen verhindert. (Vgl. Probst, Büchel 1994: 51)

Solche Risiken organisational abzupuffern, bedeutet, innovative Lernstrategien zu forcieren: Diese zielen auf die systemischen Aspekte von Organisationen.[37] In dem Maße, wie die Lerngeschwindigkeit der Organisation zu einem relevanten Wettbewerbsparameter wird, benötigen Organisationen Selbststeuerungsmechanismen, um in turbulenten Umwelten zu bestehen. Fehlertolerante (irritierbare) Strukturen, nicht-hierarchische Organisationsformen, wechselnde Projektgruppen, SE-Teams und eine "*responsive*

---

36 Vgl. zur Übersicht beispielsweise Probst, Büchel (1994); Wiesenthal (1995) und Vollmer (1996).

37 Wie Willke (1996: 192) herausstellt, ist zwar die Zentralität von Humanressourcen wichtig aber - da die Lernerfolge der Organisationsmitglieder nicht automatisch einen Lernfortschritt des Organisationssystems induzieren - keinesfalls hinreichend: "*Ohne eine entsprechende Veränderung der geltenden Regeln verpufft der größte Teil der Anstrengung der Personalentwicklung.*" (192)

Organisation" (Willke 1996) sind notwendig, um relevante Umweltveränderungen frühzeitig zu erkennen und neue Handlungsmöglichkeiten auszuloten. Zwar existieren mittlerweile vielfältige organisationssoziologische Angebote für solche Lernstrategien - sie lauten beispielsweise "*Learning by learning*" (Stiglitz 1987), "*double-loop-learning*" und - in Anschluß an Baetson (1985) - "*deutero-learning*" (Agyris, Schön 1978), "*higher-level-learning*" (Fiol, Lyles (1985) oder "*unkonventionelles Lernen*" (Wiesenthal 1995), doch mit Bezug auf Dodgson (1993) verweist Wiesenthal (1995) auf die bislang mangelnden empirischen Belege für solche Lernstrategien und vermutet, daß das kognitive Leistungsvermögen von Organisationen in diesen Fällen überfordert sein könnte.[38]

Im folgenden wird der Vermutung nachgegangen, daß Innovationsnetzwerke wegen ihrer spezifischen interorganisationalen Struktur, die selbst keine Organisation ist, die genannten Probleme effektiver bewältigen können als autonom handelnde Organisationen. Dem Anpassungslernen von Mitgliedern und dem organisationalen Lernen von Organisationen wird damit ein dritter Lerntypus herausgestellt, der hier "*reflexives Lernen*" genannt wird.

3.2.3 Reflexives Lernen

Idealtypisch agieren lernende Organisationen in Umwelten, die wiederum aus (lernenden) Organisationen bestehen. (Vgl. Kapitel II) Innovationsnetzwerke - so wurde bisher argumentiert - verknüpfen im kooperativen Vollzug die Nutzungsvisionen der Technikhersteller mit den fertigungstechnischen Produktionsanforderungen der Technikverwender durch Eignungstests und Pilotanwendungen. In diesen rückgekoppelten Prozessen zwischen Technisierungsdesign und -praxis werden Lösungen und Referenzmodelle für die weiteren Marktaktivitäten miterzeugt. Mit diesen Verknüpfungsleistungen werden nicht nur die verschiedenen Lernmodi der Einzelorganisationen integriert, sondern

---

38 Seinen eigenen Vorschlag des *unkonventionellen Lernens* relativiert er als eine nicht-intentionale Strategie: "*Allerdings erscheinen die Mechanismen des unkonventionellen Lernens für Organisationsanalysen nur von geringem Erklärungswert. Sie rekurrieren auf Faktoren und Vorgänge ohne systematischen Bezug zu genuinen Organisationsphänomenen: Nichtmitglieder, Illoyalität, Anomie und diffuse Grenzen zur Umwelt. Diese Faktoren entziehen sich der Kontrolle durch die Organisation und kommen deshalb nicht als Elemente intentionaler Lernstrategien in Frage.*" (Wiesenthal 1995: 153)

es entstehen auch Lernstrategien, in denen die Zukunftsoptionen für das gemeinsame komplexe Feld von Herstellern, Anwendern und Zulieferern ständig sondiert werden. Innovationsnetzwerke bieten aufgrund der zirkulären Verknüpfung von Herstellungs- und Verwendungswissen für Kurskorrekturen schnelle Rückkopplungswege. Dementsprechend bedeutet *reflexives Lernen* in diesem Zusammenhang eine wechselseitige Perspektivenübernahme, die davon abhängig ist, daß der andere Partner nicht dominiert wird. Die Arbeitsweise der Innovationsnetzwerke ist in diesem Zusammenhang auch eine *Technik* des Lernens, die selbst zum Lerngegenstand werden kann. Sie ermöglicht den innovierenden Unternehmen, den *Marktspiegel* (White 1981) zu durchbrechen und potentielle, durch Investitionsrisiken erzeugte, Innovationsblockaden in Kooperation aufzuheben. Gerade durch die Verknüpfungsleistungen der lernenden Organisationen in Innovationsnetzwerken könnten diejenigen *learning entities* entstehen, die in der Lage sind "*to reflect on and inquire into previous episodes of organizational learning, or failure to learn.*" (Argyris, Schön 1978: 27) Die Perspektivenvielfalt, über die Netzwerke mit heterogenen Akteuren verfügen, bietet dann günstige Bedingungen dafür, gegenüber dem Anpassungs- und Veränderungslernen in Organisationen weiterreichende innovative Lernmodalitäten zu kultivieren und die ständig wachsenden Anforderungen an Informationsbeschaffung und - verarbeitung konstruktiv zu wenden. Gerade die Spannung der doppelten Einbindung der Netzwerkakteure einerseits ins Netzwerk und andererseits in ihre Referenzorganisationen ermöglicht eine hohe Rate an Verarbeitung von zukunftsrelevanten Informationen. So ist es das Innovationsnetzwerk selbst, das über seine temporären Projekte hinaus seine eigene Innovationsdynamik stabilisieren kann.

Innovationsnetzwerke existieren in einer *institutionellen Doppelbindung*. Sie sind selbständige Sozialsysteme, in denen über wechselseitige Interessen, diskursive Kommunikation, Entwicklung einer gemeinsamen Orientierung und der vertrauensbasierten Bereitstellung von Ressourcen ein rekursiver, d.h. schrittweise aufeinander aufbauender Austausch technologie- und marktbezogener Informationen gewährleistet wird. Solche Sozialsysteme entwickeln zwar eine eigene Operationsweise, aber sie bleiben funktional auf die Bezugsorganisationen bezogen, sind von ihnen ressourcenabhängig und müssen deren Bestandwahrung laufend mitthematisieren. (Kowol, Krohn 1995) Die Achillesferse für die Kooperationsgewinne durch innovatives Lernen in Innovationsnetzwerken bildet dementsprechend die Rückfütterung der Lernerfahrungen der Netzwerkakteure

in ihre Bezugsorganisation. Denn nur dadurch können die relevanten Entscheidungen für (oder gegen) die Projekte fallen. Andererseits leistete das Sozialsystem *Innovationsnetzwerk* zu wenig, wenn es nur die Zustimmungen der beteiligten Organisationen antizipieren würde. Diese müssen vielmehr zunächst virtualisiert werden und tendenziell müssen die Netzwerkakteure davon ausgehen, daß sie durch die überlegenen Chancen kooperativen Lernens ihre Bezugsorganisationen auch von Netzwerkentscheidungen abhängig machen können.[39]

Den Handlungsvorteilen im Netzwerk stehen aus der Perspektive des Innovationsgeschehens die Gefahren der Trägheit und Resistenz gegenüber neuen Marktanforderungen und technologischen Herausforderungen gegenüber. Tempogewinnen steht das Risiko gegenüber, neue Entwicklungsrichtungen zu verpassen (*lock in*-Effekt). Darüber hinaus schafft die *doppelte Loyalität* (Schultz-Schaeffer, Jonas, Malsch, 1995: 19) ein Konfliktpotential zwischen Netzwerk und Referenzorganisation. Die gemeinsame Kooperation in Netzwerken verlangt von den teilnehmenden Akteuren gegenseitige Loyalität; nur so sind kooperative Lernprozesse zu stabilisieren. Darüber hinaus haben diese Akteure weiterhin eine Loyalitätsverpflichtung gegenüber ihren Organisationen. Externe Ergebnisse müssen intern rückgekoppelt werden, und je erfolgreicher die Akteure im Netzwerk sind, desto mehr Mißtrauen kann in der Herkunftsorganisation entstehen, beispielsweise dann, wenn befürchtet wird, daß konfligierende Normen und Werte die Organisation tangieren. Gerade deshalb ist die Institutionalisierung organisationalen Lernens eine Voraussetzung für die Produktivität der Netzwerke. Wenn die Bezugsorganisationen produktive Verunsicherungen nicht konstruktiv verarbeiten können, ist auch eine reflexive Lernstrategie im Netzwerk nur wenig wert.

Möglichkeiten, der Tendenz zum Konservativismus im Netzwerk entgegen zu treten, nutzen beispielsweise Technikanwender, wenn sie Beziehungen zu mehreren Herstellern aufbauen, um einseitige Abhängigkeiten zu vermeiden. Ähnlich wirkt der Umstand, daß bei Neuinvestitionen grundsätzlich mehrere Angebote verschiedener Hersteller eingeholt werden.

---

39 Wie auch im geschilderten Innovationsfall I deutlich wurde, in dem der technische Einkäufer des Unternehmens I_2 die Netzwerkperspektive vertrat und diese gegenüber dem zentralen Einkauf der Konzernzentrale, der eine abstrakte Rechtsposition einnahm, auch durchsetzte. (Vgl. Kap. IV, 3)

Entsprechend bemühen sich auch die Technikhersteller darum, möglichst viele Anwenderbeziehungen aufzubauen, da innerhalb weniger Hersteller-Anwender Beziehungen ihre Rentabilitätsaussichten zu gering wären. Darüber hinaus ermöglicht der Einsatz von wechselnden SE-Teams und Projektgruppen eine Rotation von Spezialisierungswissen und wirkt damit möglichen Verkrustungen im *problem solving* entgegen.

Die an den Rändern der jeweiligen Netzwerke existierenden interaktionsschwachen Beziehungen zu anderen Netzwerken sowie die gleichzeitige Mitwirkung in verschiedenen Netzwerken können der Gefahr entgegenwirken, auf eingeschlagenen Innovationswegen zu verharren. Sie können sogar wesentlich dazu beitragen, verschiedene technologische Entwicklungslinien bzw. *Trajektorien* (Dosi 1982) zusammenzuführen und entsprechende Umbauten der Netzwerke zu unterstützen.

Innovationsnetzwerke können also über einzelne Projektkooperationen hinaus auch die Dynamik einer lernenden Institution kultivieren, weil sie unterschiedliche Lernstrategien integrieren und relativ unabhängig von den aktuellen Entscheidungsprogrammen der Organisationen operieren können. Indirekt können gerade dadurch die an Netzwerken beteiligten Organisationen die Tendenzen zum konservativen Lernen und die Gefahren einer Verriegelung (*"lock-in"*) reduzieren. Damit sind allerdings hohe Anforderungen an die innovative Organisation gestellt:

- Organisationen müssen angesichts hoher Marktturbulenz, technologischer Optionsvielfalt und kalkulatorischen Unsicherheiten lernen, den Strukturaufbau von Netzwerken zu fördern;
- Innovationsnetzwerke sind mit der Erwartung konfrontiert, organisationales Lernen mit dem Ziel zu koordinieren, simultan neue Verwendungskontexte und deren praktisches Funktionieren zu gestalten;
- den Netzwerkakteuren stellt sich als weitere Anforderung die Rückübersetzung der erzielten Kooperationsgewinne in ihren Bezugsorganisationen;
- diese wiederum benötigen ein Innovationsmanagement, das die Bereitschaft der Akteure aus den unterschiedlichen Funktionsbereichen unterstützt, Wissen aufzunehmen, auszutauschen und kontinuierlich neues Wissen aufzubauen, mithin auch *Verlernen* zu lernen.
- die aus der institutionellen Doppelbindung resultierenden Probleme *doppelter Loyalität* erfordern eine responsive Organisationspraxis (vgl. dazu Willke 1996:

191ff.), um mögliche Blockierungen im Verhältnis von Organisation und Netzwerk mit dem Ziel zu reflektieren, die Co-Evolution technikerzeugender und -verwendender Sozialsysteme zu ermöglichen.

Den tentativen Bemühungen der Unternehmen um eine Reorganisation der betrieblichen Innovationsprozesse stehen immer noch stark risikoaverse Organisationstraditionen entgegen, die die Effizienz der zwischenbetrieblichen Innovationsnetzwerke reduzieren. Eine lernoffene Unternehmenskultur mit dynamischen Rändern durch temporäre und funktionsbegrenzte Mitgliedschaften und autonomen Entscheidungszentren würde die Bedingungen für den Aufbau von Innovationsnetzwerken und die Umsetzung ihrer Innovationsarbeit verbessern. In gewissem Sinne sind genau sie die Beispiele für jene Unternehmen mit "*multipler Identität*" (Wiesenthal 1995: 153), von denen eine Innovationsdynamik erwartet wird, die das Modernisierungstempo mithalten kann. Aber da es für den Umbau von Organisationen weder Patentrezepte noch vorprogrammierbare Bereitschaften im Management gibt, sind es wohl auch die Erfolge mit Innovationsnetzwerken, durch die die Vorteile vertrauensbasierter und ambiguitätstoleranter Kooperationsformen gelernt und eingeübt werden. Solche Vorteile existieren dort, wo die organisationalen Umwelten durch ihre Komplexität intransparent und ihre Entwicklung durch ihre Dynamik unvorhersagbar geworden ist.

Innovationsnetzwerke- so die Quintessenz - ermöglichen Informationsoffenheit und -durchlässigkeit, darüber hinaus bieten sie eine (rekursive) Struktur für den Umgang mit Mehrdeutigkeiten und Unsicherheit. Gemeinsam getragene Lernprozesse sind wahrscheinlich. Sie ermöglichen die Reduktion technologischer Unsicherheit und Marktintransparenz. Vertrauen als wechselseitige Ressource innerhalb der *Innovationsnetzwerke* eröffnet eine institutionalisierte Struktur für rückgekoppelte Lernprozesse. Diese ermöglichen, daß die Nutzungsvisionen der Technikhersteller und die Implementationsanforderungen der Technikverwender in *experimentellen* Praktiken iterativ aufeinander abgestimmt werden können. Innerhalb von *Innovationsnetzwerken* zirkuliert *Innovationswissen* als Erzeugungs-, Verwendungs- und Gestaltungswissen, z.T. lokal gebunden ("*implicit knowledge*") und nicht als freie Ressource verfügbar. Die Rückbindung des im Innovationsnetzwerk erzeugten Wissens an die jeweils beteiligten Organisationen sowie das Problem "*doppelter Loyalität*" bilden eine Achillesferse der Netzwerke. Darüber hinaus können *Innovationsbarrieren* sowohl aus mangelndem als auch aus zu starkem Vertrauen resultieren.

VI. Resümee

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Erarbeitung eines dynamischen Modells der Genese neuer Techniken. Ausgehend von der kritischen Diskussion der klassischen Modelle des *demand pull-* und des *technology push*-Ansatzes stellte sich für die weitere Vorgehensweise der Analyse die Aufgabe, die Innovationsdynamik aus der zu schroffen Kontrastierung von Erfindungstätigkeit versus Marktabhängigkeit zu lösen. Theoriebausteine für ein neues Modell konnten in der Auseinandersetzung mit der *Evolutionären Ökonomie* und der *Technikgeneseforschung* gefunden werden.

Die Beschäftigung mit der *Evolutionären Ökonomie* führte zu der Erkenntnis, daß die evolutionäre Denkweise innerhalb der Ökonomie wichtige Aspekte der Innovationsdynamik präzisieren kann: Den unterschiedlichen organisationalen Routinen im Innovationsprozeß und ihren institutionellen Einbettungen muß ebenso eine gezielte Aufmerksamkeit zuteil werden wie den Kommunikations-, Kooperations- und Lernprozessen heterogener Akteure sowie den unterschiedlichen Kapazitäten der Informationsbeschaffung und -verarbeitung in den innovierenden Unternehmen. Allerdings unterschätzt die *Evolutionäre Ökonomie* mit ihren zentralen Begriffen *technological paradigm* und *technological trajectory* die in empirischen Feinanalysen beobachteten Umnutzungen von Technik in den Verwendungskontexten; sie unterschätzt die sozialen Implikationen die aus den Nutzungsvisionen der Technikhersteller resultieren. Die Anfangsvisionen über das zukünftige Nutzerverhalten müssen häufig revidiert werden, die Technik wird in ständiger Abstimmung zwischen Entwicklerfirmen und Verwenderfirmen modifiziert. Auch führen neue technologische Paradigmata nicht zu einer radikalen Entwertung der vorhandenen, mit denen sie konkurrieren. Als eine weitere Schwäche wurde die artefaktzentrierte Sichtweise der *Evolutionären Ökonomie* notiert. Aus dieser Schwäche resultiert die zu strikte Trennung von (technischer) Variation und (Markt-)Selektion.

Um hier weiterzukommen drängte sich die soziologische Analyse von Technisierungsprozessen auf. Wie die *Technikgeneseforschung* zeigt, kann Technikentwicklung weder theoretisch noch empirisch auf die isolierte Veränderung technischer Artefakte und Produktionsverfahren reduziert werden; sie muß als sozialer Prozeß verstanden, konzipiert und untersucht werden. Die Auseinandersetzung mit der Techniksoziologie in dieser Arbeit führte zu weiteren wichtigen Erkenntnissen für die Modellierung der Dynamik technischer Innovationen: Insofern diese Technikentwicklung und -verwen-

dung strikt aufeinander bezieht, wird die interorganisationale Dimension technischer Innovationen konzeptionell stärker hervorgehoben. Während die evolutionäre Betrachtungsweise der Innovationsprozesse mit dem Kriterium einer selegierenden Marktumwelt operiert, wurde in dieser Arbeit - durch den Rückgriff auf die Theorie der Selbstorganisation - auf eine zirkuläre Schließung von technikerzeugenden und -verwendenden Sozialsystemen (Unternehmen) geschlossen. Damit korrespondierte die Umstellung eines substantiellen Technikbegriffs auf einen prozeduralen und relationalen Technikbegriff. Der Prozeß der Technisierung wurde in Analogie zur Selbstorganisationstheorie als ein durch vielfältige dynamische Abhängigkeiten gekennzeichneter Prozeß zur Erzeugung einer *Eigenlösung* (die neue Technik) definiert. Die Erzeugung einer *Eigenlösung* bildet in dieser Perspektive nicht nur die Konstruktion eines neuen Artefaktes, sondern schließt die Konstruktion eines neuen Verwendungskontextes mit ein. Diese Umstellung eröffnete nun die Möglichkeit, technische Variation und Marktselektion in einer dynamischen Modellierung des technischen und sozialen Wandels miteinander zu kombinieren.

Die entscheidenden Bezugspunkte für das angestrebte Modell der Technikgenese waren nun - auf dem Hintergrund der genannten Forschungsrichtungen -, die Bedeutung der Komplexität technologiebezogener Entscheidungen, bestehende Informationsasymmetrien, die Multireferentialität der Entscheidungskriterien, die soziale Heterarchie der innovationsrelevanten Akteure sowie neuartige Kooperationsanforderungen und Lernstrategien zwischen Herstellern und Verwendern neuer Technik. Die zentralen Begriffe der (technologischen) *Unsicherheit*, der (Markt-)*Intransparenz* und des rückgekoppelten *Lernens* stellten dementsprechend die Ausgangspunkte für ein neues Modell dar.

Die wechselseitigen Lernprozesse und Kooperationen in den Innovations- und Implementationsvorhaben zwischen den Herstellern und Verwendern neuer Technik wurden als *rekursiver Prozeß* konzeptionalisiert. Der Begriff der rekursiven Technikentwicklung bezeichnet einen Prozeß, in dem sich Entwicklung und Verwendung neuer Technik wechselseitig vorantreiben, so daß nicht mehr strikt zwischen Ursachen und Wirkungen technischer Entwicklungen unterschieden werden muß, wie es beispielsweise klassische Innovationstheorien nahelegten.

Die kritische Reflexion dieser theoretischen Vorgaben war für den empirischen Teil dieser Arbeit forschungsrelevant: Der Werkzeugmaschinenbau läßt sich als eine intermediäre Branche kennzeichnen, die im wesentlichen erfahrungsbasiert, inkremental

und zumeist in enger Kooperation mit den Verwendern permanente Innovativität unter Beweis stellt. Die empirischen Untersuchungen fragten nun danach, wie in aktuellen Innovationsvorhaben Entwicklung und Verwendung neuer Technik prozedural miteinander verwoben werden, welche Strukturen des Austausches technischer Parameter und rückgekoppelter Lernprozesse dabei emergieren, wie die Probleme der technologischen Unsicherheit und der Marktintransparenz bearbeitet werden und wie die praktische Kooperation zwischen der konstruktiv-abstrakten Tätigkeit der Techniker und der empirisch-praktischen Tätigkeit der Facharbeiter im Innovationsprozeß funktioniert.

Zu den Problemen qualitativer Sozialforschung gehört die Verallgemeinerung von Fällen zu Trendaussagen. Deshalb war es zusätzlich notwendig in einer umfassenden Branchenanalyse zunächst quantitative Strukturdaten der Branche zu analysieren, Ergebnisse der innovationstheoretischen Literatur einzubeziehen und auf der Basis von vorliegenden empirischen Untersuchungen im Werkzeugmaschinenbau das Sample zu begründen. Dabei erwies es sich als notwendig, Differenzierungen in Großbetriebe und in Klein- und Mittelbetriebe einerseits und die Unterscheidung von Produktinnovationen für die serielle Produktion und die Produktinnovation im Rahmen von Sonderlösungen für kontextspezifische Verwendungszwecke als idealtypische Konstrukte vorzunehmen. Die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt resümieren:

Technikgenese besteht in der Transformation von ingenieurwissenschaftlichem Wissen, praktischen Erfahrungen mit gegebener Technik, kaufmännischen Überlegungen und auszuhandelnden Interessen zur Organisation der Arbeit in neue marktfähige Produkte und Verfahren, die in einer weiteren Transformation in den sozialen Kontext der betrieblichen Produktion zurückübersetzt werden müssen. Technikgenese als mehrdimensionaler, sozialer und historischer Prozeß, integriert eine Vielzahl ökonomischer, politischer, wissenschaftlicher und kultureller Einflüsse. Dieser Prozeß vollzieht sich nicht linear von der Phase der Ideenproduktion in FuE bis hin zur Implementation und zur inkrementalen Weiterentwicklung der Technik, sondern in einer rekursiven Verknüpfung von Erfahrungen und Wissensbestandteilen, die bei der Erzeugung und in der Verwendung von Technik gewonnen werden. Das Modell der Rekursion wendet sich dementsprechend gegen eine lineare Modellierung der Technikentwicklung. Es entfaltet die These, daß sich die Entwicklung einer neuen Technik nicht gradlinig über verschiedene Entwicklungsphasen von oben nach unten durchsetzt, sondern daß sie von zahlreichen Rückkopplungsschleifen, Iterationen und Überschneidungen in allen Phasen der

Innovation charakterisiert ist. Neben neuen interorganisationalen Austauchbeziehungen stehen auch alte innerbetriebliche Strukturen der Technikentwicklung zur Diskussion, sollen doch durch die gezielte Verzahnung von Phasen der Technikentwicklung die Innovationszyklen verkürzt und anwenderadäquate technische Lösungen realisiert werden. Weder allein die ingenieurwissenschaftlichen Ideen, d.h. eine Orientierung am '*Stand der Technik*', noch die Marktnachfrage determinieren die konkrete Ausgestaltung einer Maschine oder Anlage. Die technischen Artefakte sind Ergebnisse von Aushandlungsprozessen unterschiedlicher Akteurgruppen, die jeweils für eine bestimmte Perspektive im Entwicklungsprozeß stehen. Für die konstruktiv-abstrakte und 'theoretische' Perspektive im Innovationsprozeß steht die Gruppe der Ingenieure und Konstrukteure in den Konstruktions- und Entwicklungsabteilungen, für die empirisch-praktische Perspektive sind im wesentlichen die Facharbeiter in den Werkstatt- und Produktionsbereichen zu nennen. Zusammengenommen stellen diese Perspektiven zwei wesentliche Pole innerhalb des betrieblichen Innovationsgeschehens dar. Sie stehen in einem engen wechselseitigen Bedingungsverhältnis: Ingenieure und Konstrukteure können mit den ihnen zur Verfügung stehenden Mitteln modellhafter und symbolischer Abstraktion nicht die konkrete Anschauung der Praktiker ersetzen; andererseits sind die Praktiker in der Werkstatt auf die konstruktiven und formalen Vorgaben aus der Entwicklung und der Konstruktion angewiesen. In der spannungsreichen Zusammenarbeit dieser Akteurgruppen und in der Kombination ihrer unterschiedlichen Wissensbestände ist ein wesentliches Agens für die konkrete Gestaltung neuer Technik zu sehen. Dieser Ansatz betont die wachsende Bedeutung der betrieblichen Praktiker in Fertigung und Montage wie in der Verwendung einer neuen Maschine oder Anlage für den Innovationserfolg. Die Wahrnehmung, Beschreibung und Regulation von Störungen, das Optimieren von Fertigungsprozessen und das praktische Schließen von Lücken der Konstruktionszeichnungen können als wichtige Tätigkeitsanforderungen an Facharbeiter qualifiziert und als *Innovationsarbeit* bezeichnet werden. Die qualifizierte Arbeitskraft ist aus dieser Sicht eine nicht hintergehbare Voraussetzung für Produkt- und Prozeßinnovationen.

Entwicklung, Implementierung und Dauerbetrieb eines neuen Verfahrens oder eines technischen Artefaktes lassen sich - wie schon angesprochen - nicht mehr eindeutig voneinander trennen. Die Aufstellung einer Maschine oder Anlage beim Techniknutzer kennzeichnet nicht schon den Endpunkt der Produktentwicklung. Vielmehr muß

davon ausgegangen werden, daß sich die Erprobungs- und Experimentierphasen einer technischen Innovation noch auf mehr oder weniger lange Zeiträume unter Betriebsbedingungen erstrecken. Damit wird die Technikanwendung unter Realbedingungen zum Experimentier- und Lernfeld sowohl für den Hersteller als auch für den Verwender, zum Startpunkt für einen Lern- und Optimierungsprozeß, in dem iterativ neues Erfahrungs- und Handlungswissen gewonnen wird, das selbst wiederum relevantes Wissen für die Weiterentwicklung der Technik ist: *Der Betrieb wird zum Labor.*

Wenn forschungs- und entwicklungsrelevante Informationen und Leistungen zunehmend von Mitarbeitern außerhalb der eigentlichen Konstruktions- und Entwicklungsabteilungen erbracht werden, so müssen sie durch entsprechende betriebliche und zwischenbetriebliche Organisationsstrukturen für den Innovationsprozeß verfügbar gemacht werden. Für die Technikentwicklung wird deshalb die Frage nach der Organisation relevant: Innovation erfordert sowohl zwischenbetriebliche Beziehungen, welche die Rückkopplung relevanten Anwenderwissens in den Herstellungskontext sichern, als auch fortlaufende Kooperation zwischen den FuE- und den Werkstattabteilungen des Herstellerunternehmens. Solche Rückkopplungen sind als *externe Rekursion* (zwischen Verwendungs- und Herstellungskontext) bzw. als *interne Rekursion* im Herstellerunternehmen bezeichnet worden. Die für den Transfer technischen Wissens und technischer Parameter relevanten Kooperations- und Kommunikationsstrukturen zwischen Herstellern und Verwendern (sowie Ingenieurbüros, Zulieferern und außerbetrieblichen Forschungsinstituten) wurden als *Innovationsnetzwerke* bezeichnet. In diesen Netzwerken werden in diskursiven Prozessen wichtige technische Parameter und Lösungskonzepte generiert, schon vorhandene getestet, weiterentwickelt und stabilisiert - oder in Frage gestellt und verworfen. Innovationsnetzwerke sind pulsierende Strukturen, da zu verschiedenen Zeiten differente Akteure mit wechselnden Funktionen beteiligt sind. Innovationsnetzwerke werden durch rekursive Prozesse hervorgerufen und stabilisiert. Innovation ist also kein singulärer Akt - schon gar nicht unter den Bedingungen moderner Produktionstechnik -, sondern Ergebnis von Aushandlungsprozessen in Innovationsnetzwerken. Die Perspektivenverschränkung von Herstellung und Verwendung, von Erzeugern und Nutzern führt zu Kooperationsformen, die durch einen gemeinsamen technischen Jargon abgestützt werden. Dieser Jargon wirkt koordinationserleichternd und birgt selbst wiederum strukturbildende und -stabilisierende Wirkungen in sich. In den engen Hersteller-Anwender-Interaktionen und mit dem

(gelegentlichen) Einbezug kontextbildender Organisationen und Institutionen (außerbetriebliche Forschungsinstitute, Ingenieurbüros, Normungsausschüsse, Branchenverbände) entsteht ein spezifisches Verfahrens- und Produktwissen, das nicht immer allgemein zugänglich ist, selten hinreichend genau imitiert werden kann und deshalb auch nicht immer patentiert wird. Es erbringt den Unternehmen *interne Skaleneffekte*: ein lokales Wissen, das über rekursive Lernprozesse permanent weiterentwickelt wird.

In der traditionellen ökonomischen Sichtweise der Innovation wurde die Verfügbarkeit von *Technologie* entweder als ein öffentliches, frei verfügbares Wissen oder als ein privat gehandeltes Wissen (Patente) beschrieben, technischer Fortschritt als ein *Black box*-Phänomen behandelt. Dem entspricht ein Kaskadenmodell der technischen Entwicklung. Es geht von der schrittweisen Erzeugung von (technologischem) Wissen in der Grundlagenforschung aus, das über die angewandte Forschung in die betriebliche Forschung und Entwicklung gelangt, dort in Innovationen umgesetzt wird und entsprechende Marktaktivitäten der Unternehmen auslöst.

Gegen diese Sichtweise von Technologie und Innovation zeichnet diese Forschungsarbeit ein anderes Bild: Technologie wird hier als ein Gut mit spezifischen Eigenschaften analysiert und in die Dimensionen *öffentlich*, *privat*, *lokal* und *implizit* dekomponiert. Technologie als lokales oder implizites Wissen ist kontextuelles Wissen und es entsteht u.a. in der Ausschöpfung von Produktionspotentialen im Rahmen inkrementaler oder systematischer Produkt- bzw. Prozeßverbesserungen, in nicht-kodifizierten oder organisational fixierten und nur zum Teil in Konstruktionszeichnungen eingetragenen Verbesserungsbeiträgen aus der Fertigung und Montage, der Implementation oder dem Dauerbetrieb einer Maschine oder Anlage. Solche - in der innovationstheoretischen Literatur zumeist unterschätzten - Innovationsbeiträge zeigen sich beispielsweise in der Verbilligung der Fertigungs- und Montagekosten einer Innovation im zeitlichen Verlauf, der Abwicklung von Innovationsprojekten durch Kooperationseffekte eingespielter Projektteams oder in der zwischenbetrieblichen Kooperation bei *simultaneous engineering*-Verfahren.

Diese Lernprozesse erzeugen *Pfadabhängigkeiten* technischer Entwicklungslinien. Zukünftiger Erfolg baut auf vergangenem auf, der betriebliche Innovationsprozeß basiert auf kumulativen Lerneffekten. Skaleneffekte entstehen u.a. durch *Learning by doing* und *Learning by using* (Rosenberg 1982). Daß damit Risiken verbunden sind, zeigt sich spätestens dann, wenn aufgrund nachlassender Marktnachfrage oder technolo-

gisch attraktiver Alternativen beim Verlassen bestimmter Pfade *Switching costs* entstehen. Diese Risiken abpuffern zu wollen, erfordert weiterreichende Strategien zu entwickeln: Erst durch organisationale Lernprozesse in den technikherstellenden und -verwendenden Unternehmen sowie den reflexiven Lernprozessen in den Innovationsnetzwerken werden auch Anpassungen an derartige Entwicklungen möglich.

Eine gewichtige Frage soll nun der Reflexion des vorgestellten Modells gelten: Erscheint es auf dem Hintergrund der Herausstellung der hohen Innovativität, der technologisch führenden Rolle und der empirisch aufzeigbaren Tendenz zu intensiven Hersteller-Anwender-Beziehungen innerhalb des deutschen Werkzeugmaschinenbaus nicht als widersprüchlich, daß diese Branche seit mehreren Jahren in der Krise steckt?

Dafür spricht zunächst, daß die zwar auch aktuell zu belegende hohe Innovativität und die technologisch führende Rolle des deutschen Werkzeugmaschinenbaus u.a. auf ein Ensemble traditioneller Konstitutionselemente zurückzuführen sind, die nun aber möglicherweise erodieren könnten. Zu diesen Konstitutionselementen gehören:

- die verbreitet mittelständische Betriebsgröße,
- eine intensive Kooperation von funktional eigenständigen Bereichen in den Betrieben,
- ein hohes Maß an Erfahrungswissen der Facharbeiter,
- offene innerbetriebliche Karrierewege vom Facharbeiter zum Techniker,
- eine zumeist langjährige Betriebszugehörigkeit der Beschäftigten,
- nichtformalisierte kurze Kontaktwege und ein
- verbreitetes Co-Management von Betriebsräten und Unternehmensführungen.

Weiterhin signalisieren Stichworte wie *Over-engineering*, *bürokratisch-sequentielle Innovationsorganisation*, *Outsourcing* und *nachlassende Innovationsdynamik*, daß der deutsche Werkzeugmaschinenbau seit einigen Jahren in eine strukturelle Krise geraten ist. Neben der bekannten *Standortdiskussion* werden *zu lange und zu bürokratische Entwicklungszeiten*, eine unzureichende betriebliche Umsetzung von Anwenderanforderungen und eine *mangelnde Koordination technologischer und marktorientierter Entwicklungsziele* verantwortlich gemacht.

Zwar können diese Gesichtspunkte auch durch die empirischen Untersuchungen in den Innovationsfallstudien unterstrichen werden; hier wird aber die These vertreten, daß mit dem Modell der Innovationsnetzwerke weitere Gründe benannt werden können, um diese Krise zu analysieren.

Zunächst ist auf das (noch andauernde) Problem der Kombination der mechanischen und elektrotechnischen Entwicklungslinien mit den neuen Werkstoffen im Werkzeugmaschinenbau zu verweisen. Hier gilt es, gänzlich unterschiedliche Wissensbestände (erfahrungsbasiert versus informationstechnologisch gestützt) zusammenzuführen, was mit den traditionalen organisationalen Mitteln ein erhebliches Problem darstellt. Dies gilt ebenfalls für den Aufbau neuer Zulieferbeziehungen zur Elektroindustrie und den Softwareentwicklern. Anfänglich resultierten aus diesen Anforderungen unterschiedliche Steuerungskonzepte und Leitbilder (z.B. AV-Programmierung versus Werkstattprogrammierung), die bei weiterer Vernetzung häufig Inkompatibilitäten aufwiesen. Beispielsweise paßten CNC- und CAD-Software nicht recht zusammen, so daß Integrationsprobleme entstanden und teure Anpassungen folgten. Gerade die Institutionalisierung von rückgekoppelten Lernprozessen und das Verlernen alten Wissens erscheinen hier als noch nicht bewältigte Defizite einer weiterhin notwendigen Reorganisation der Unternehmen und ihrer Beziehungen zu Zulieferanten und Dienstleistern.

Weiterhin bilden - anders als in Japan - die vergleichsweise geringe Eigenkapitalquote und Rendite der mittelständischen Betriebe im Zusammenhang mit den von den Anwendern durchgesetzten vertraglich fixierten Vorfinanzierungen der Innovationen ein großes monetäres Problem. Verschärft wird dies, wenn es um den Bau von Sondermaschinen geht, die für Zeiträume bis zu mehreren Jahren vorfinanziert werden müssen. Bei einer immer noch hohen Fertigungstiefe, einem allgemeinen Rückgang der Investitionsbereitschaft der Anwenderindustrien und der verschärften Preiskonkurrenz öffnete sich hier eine 'Liquiditätsfalle', die einige - durchaus innovative - Betriebe zur Aufgabe der Eigenständigkeit zwang. Dahinter kann unschwer eine ungleichgewichtige Struktur in den Beziehungen zwischen Herstellern und Anwendern neuer Technik gesehen werden, die durch veränderte Kooperationsverfahren zu einer Risikosymmetrie führen könnten.

Auch ist die *Erosion* sogenannter *Brückenqualifikationen* (Drexel 1994) ein innovationshemmendes Problem. Das traditionelle Sozialmodell im Werkzeugmaschinenbau weist durchlässige Hierarchieebenen (innerbetriebliche Aufstiegsmöglichkeiten für Facharbeiter zum Techniker) und eine damit verbundene intensive Kommunikation und Kooperation zwischen Technikern und Facharbeitern auf. Mit der Bildungsexpansion (und der Einführung des Fachhochschul-Ingenieurs) einerseits, dem Vordringen der Informationstechnik andererseits, sind gegenwärtig ein *Einfrieren* der innerbetrieblichen

Karrierewege für Facharbeiter und neuartige Kooperations- und Kommunikationsprobleme im betrieblichen Innovationsprozeß zu beobachten. (Vgl. auch Lutz 1993)

Schließlich bezweifeln neuere Forschungsarbeiten zum baden-württembergischen Maschinenbau - von Piore, Sabel (1989) noch in den achtziger Jahren als Paradebeispiel für Theorie der flexiblen Spezialisierung genannt -, daß die traditionellen Stärken des "Modells Baden-Württemberg" auch zur Zukunftsbewältigung ausreichen. (Vgl. Kerst, Steffensen 1995; Cooke 1996) Kerst und Steffensen resümieren ihre aktuellen Analysen dahingehend, daß "*einige der regionalen Selbstgewißheiten wie auch der wissenschaftlichen Beschreibungen Baden-Württembergs nicht oder zumindest nicht mehr zutreffend sind.*" (Ebd.: 60) Diese beziehen sich auf bisher nur ungenügend gelungene Vernetzungen zwischen verschiedenen Technikkomponenten, vorherrschend konservative Marktstrategien, konservative Organisationsstrukturen sowie die nur zögerlich begonnenen Reorganisationsmaßnahmen in den Unternehmen des Maschinenbaus.

Mit dem in dieser Arbeit entwickelten Modell der rekursiven Technikentwicklung kann dementsprechend argumentiert werden, daß die strukturellen Probleme des Werkzeugmaschinenbaus auch aus einer spezifisch-interorganisatorischen Struktur zwischen den technikherstellenden und -verwendenden Unternehmen resultieren, die nun, in Zeiten hoher Marktturbulenz, von den innovierenden Unternehmen erfordern, durch den Aufbau von Innovationsnetzwerken die technologischen Unsicherheiten zu reduzieren und neue Märkte zu generieren.

Die Innovationsfallstudien wurden in einer Zeit zunehmender Verunsicherungen der Unternehmen hinsichtlich der (Re-)Organisation der Innovationsprozesse durchgeführt. Gefragt wurde deshalb auch nach den institutionellen bzw. organisationalen Antworten der Unternehmen auf die wahrgenommenen Unsicherheiten, den *experimentellen Praktiken*, mit denen der technologische und wirtschaftliche Erfolg gesichert werden soll. Da Krisen immer auch Zeiten der Chancen und des Neuanfangs sind, bot sich eine gute Gelegenheit, sowohl Beharrungsvermögen als auch Veränderungsbereitschaft innerhalb der innovierenden Unternehmen und ihren Anwendern zu studieren.

Als ein zentraler Begriff für die organisationale Bearbeitung von Unsicherheit kann der Begriff des Lernens gelten. Lernen ist sowohl personal als auch organisational zu verstehen, denn einerseits müssen Organisationen bei hoher Marktturbulenz und technologischer Optionsvielfalt lernen, flexibel auf Unsicherheiten zu reagieren, andererseits bedarf ein erfolgreiches Innovationsmanagement die Bereitschaft der Akteure

aus den unterschiedlichen Funktionsbereichen, Wissen auszutauschen, kontinuierlich neues Wissen aufzubauen und alte Routinen zu verlernen. Den diesbezüglichen Bemühungen der Unternehmen um eine Reorganisation der betrieblichen und zwischenbetrieblichen Innovationsprozesse stehen aber mangelnde Erfahrungen mit den Restrukturierungsprozessen sowie wirtschaftliche Schwierigkeiten und Technologieunsicherheiten gegenüber. Diese Probleme deuten darauf hin, daß das Lernen permanent gelernt werden muß, auch und gerade, um inadäquates Lernen auf der Basis vergangenen Erfolgs mit dem Ziel zu reflektieren, frühzeitig und sensibel zukünftige neue Pfade zu entwikkeln. Einige Schlüsselfaktoren für organisationales Lernen im Innovationsprozeß liegen in der Abstimmung der unterschiedlichen Praktiken von Kaufleuten, Technikern und Facharbeitern, in einer lernoffenen Unternehmenskultur, aber auch in den Entscheidungs-, Informations- und Kommunikationsstrukturen. Darüber hinaus sind die reflexiven Lernprozesse in den Innovationsnetzwerken von besonderer Bedeutung, denn hiervon sind unter anderen die Intensität der Rückkopplungen und Synergien abhängig, die die Lernmöglichkeiten von Herstellern und Verwendern konditionieren. Solche Lernprozesse wappnen gegen die drohenden Gefahren einer Überalterung von Netzwerkstrukturen und daraus resultieren *lock in*-Effekten. Als eine Achillesferse der Innovationsnetzwerke erweisen sich schließlich die Probleme *doppelter Loyalität*: diese können entstehen, wenn zwischen der emergenten Netzwerkstruktur und den Referenzorganisationen unterschiedliche Erwartungen als Probleme der doppelten Einbindung wahrgenommen und widersprüchliche Anforderungen an die Akteure formuliert werden. Den Vorteilen einer schrittweisen Vertrauensspirale als riskante Investition in Kooperation steht als Nachteil eine Mißtrauensspirale gegenüber, die die *Innovationsblockade* generieren kann.

Literaturverzeichnis

Acs, Z., J., Audretsch, D., B., 1990: Innovation and Technological Change: An Overview, Wissenschaftszentrum Berlin, discussion paper, FS IV 90-6.

Altmann, N., Bechtle, G., Lutz, B., 1978: Betrieb - Technik - Arbeit. Elemente einer soziologischen Analytik technisch-organisatorischer Veränderungen, Frankfurt/M.

Altmann, N., Deiß, M., Döhl, V., 1986: Ein Neuer Rationalisierungstyp - neue Anforderungen an die Industriesoziologie, in: Soziale Welt, Jg. 37, Heft 2/3, S. 191-206.

Altmann, N., Sauer, D., (Hrsg.), 1989: Systemische Rationalisierung und Zulieferindustrie - Sozialwissenschaftliche Aspekte zwischenbetrieblicher Arbeitsteilung, Frankfurt/M.

American Machinist 1991: Blue Bulletin Newsletter. (Zit. nach: Wieandt 1992)

Amendolo, M., Bruno, S., 1990: The behaviour of the innovative firm: Relation to the environment, in: Research Policy, Vol. 19, No. 5, S. 419-433.

An der Heiden, U., 1992: Selbstorganisation in dynamischen Systemen, in: Krohn, W., Küppers, G., (Hrsg.), Emergenz: Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung, Frankfurt/M., S. 57-88.

Anderson, E., S., 1991: Techno-Economic-Paradigm as Typical Interface Between Producers and Users, in: Journal of Evolutionary Economics, Vol. 1, S. 119-144.

Anderson, P., Tushman, M., L., 1990: Technological Discontinuities and Dominant Design: A Cyclical Model of Technological Change, in: Administrative Science Quarterly, Vol. 35, S. 604-633.

Ansoff, H., Stewart, J., M., 1967: Strategies for a Technology-Based Business, in: Harvard Business School, Vol. 45, Nr. 6, S. 71-83.

Aoki, M., 1990: Towards an Economic Model of the Japanese Firm in: Journal of Economic Literature, Vol. XXVIII, S. 1-27.

Argyris, C., Schön, D., A., 1978: Organizational Learning: A Theory of Action Perspective. Reading, Mass.: Addision-Wesley.

Arrow, K., 1962: The economic implications of learning by doing, in: Review of Economic Studies, Vol. 29, S. 155-173.

Asdonk, J., Bredeweg, U., Kowol, U., 1990: Technikgenese im Kontext von Hersteller-Anwender-Beziehungen, in: Tschiedel, R., (Hrsg.), Die technische Konstruktion der gesellschaftlichen Wirklichkeit, München, S. 121-136.

Asdonk, J., Bredeweg, U., Kowol, U., 1991: Innovation als rekursiver Prozeß. Zur Theorie und Empirie der Technikgenese am Beispiel der Produktionstechnik in: Zeitschrift für Soziologie, Jg. 20, Heft 4, S. 290-304.

Asdonk, J., Bredeweg, U., Kowol, U., 1993: Innovation, Organisation und Facharbeit. Rahmenbedingungen und Perspektiven betrieblicher Technikentwicklung, Bielefeld.

Asdonk, J., Bredeweg, U., Kowol, U., 1994: Evolution in technikerzeugenden und technikverwendenden Sozialsystemen, in: Rammert, W., Bechmann, G., (Hrsg.), Jahrbuch Technik und Gesellschaft, Band 7, Frankfurt/New York, S. 67-94.

Asdonk, J., Herbold, R., Kowol, U., 1995: Innovationsfallstudien. Technikgenese zwischen Herstellern und Anwendern. Empirische Arbeiten aus dem Projekt "Technikentwicklung als rekursiver Prozeß", Bielefeld (IWT-Paper).

Asdonk, J., Herbold, R., Kowol, U., 1996: Akteurkonfigurationen in der Technikgenese. Die Organisation der Innovation am Beispiel des Werkzeugmaschinenbaus, Bielefeld (IWT-Paper 11).

Asdonk, J., Kowol, U., 1994: Die Lücken der Konstruktion werden in der Werkstatt geschlossen. Praktische Interdisziplinarität bei technischen Innovationen, in: Wechselwirkung, Jg. 16, Heft 10, S. 13-18.

Asdonk, J., Kowol, U., (Hrsg.), 1995: Innovation - Organisation - Netzwerk: Außerbetriebliche Forschungsinstitute als Akteure im Innovationsnetzwerken, Lehrforschungsbericht 1992-1994, Ms., Bielefeld.

Ashmore, M., Wooffitt, R., Harding, S., 1994: Humans and Others, Agents and Things, in: American behavioral scientist, Vol 37, Nr. 6, S. 733-740.

Audretsch, D., B., 1992: Small Business in Industrial Economics: The New Learning, Wissenschaftszentrum Berlin, discussion papers FS IV 92-16, Berlin.

Axelrod, R., 1984: The Evolution of Cooperation, New York.

Baecker, D., 1988: Die Unwahrscheinlichkeit der Marktwirtschaft, in: Freibeuter, Heft 35, S. 54-64.

Baecker, D., 1994: Postheroisches Management, Berlin.

Baethge, M., 1994: Arbeit und Identität, in: Beck, U., Beck-Gernsheim, E., (Hrsg.), Riskante Freiheiten, Frankfurt/M, S. 245-261.

Baethge, M., Oberbeck, H., 1986: Zukunft der Angestellten, Frankfurt/New York.

Bateson, G., 1985: Ökologie des Geistes. Anthropologische, psychologische, biologische und epistemiologische Perspektiven, Frankfurt/M.

Basalla, G., 1988: The Evolution of Technology. Cambridge, UP.

Bechtle, G., 1994: Systemische Rationalisierung als neues Paradigma industriesoziologischer Forschung? in: Beckenbach, N., Treeck, W.v., (Hrsg.), Umbrüche gesellschaftlicher Arbeit, Soziale Welt, Sonderband 9, Göttingen, S. 45-64.

Beck, U., Giddens, A., Lash, S., 1996: Reflexive Modernisierung. Eine Kontroverse, Frankfurt/M.

Beckenbach, N., Treeck, W.v., (Hrsg.), 1994: Umbrüche gesellschaftlicher Arbeit, Soziale Welt, Sonderband 9, Göttingen.

Beckert, J., 1996: Was ist soziologisch an der Wirtschaftssoziologie? Ungewißheit und die Einbettung wirtschaftlichen Handelns, in: ZfS, Jg. 25, Heft 2, S. 125-146.

Behr, M., 1995: Regressive Gemeinschaft oder zivile Vergemeinschaftung. Ein Konzept zum Verständnis posttraditionaler Formen betrieblicher Sozialintegraton, in: ZfS, Jg. 24, Heft 5, S. 325-344.

Bell, D., 1975: Die nachindustrielle Gesellschaft, Frankfurt.

Belt, H.v.d., Rip, A., 1987: The Nelson-Winter-Dosi Model and Synthetic Dye Chemistry, in: Bijker, W., E., Hughes, Th., Pinch, J., (Eds.), The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology, Cambridge (Mass.), London, S. 135-158.

Berger, J., 1987: Autopoiesis: Wie systemisch ist die Theorie sozialer Systeme? in: Haferkamp, H., Schmid, M., (Hrsg.), Sinn, Komunikation und Differenzierung. Beiträge zu Luhmanns Theorie sozialer Systeme, Frankfurt/M., S. 129-152.

Berger, J., 1996: Was behauptet die Modernisierungstheorie wirklich - und was wird ihr bloß unterstellt? in: Leviathan, Jg. 24, Heft 1, S. 45-62.

Bergstermann, J., Brandherm-Böhmker, R. (Hrsg.), 1990: Systemische Rationalisierung als sozialer Prozeß, Bonn.

Bieber, D., 1992: Systemische Rationalisierung und Produktionsnetzwerke, in: Malsch, T., Mill, U., (Hrsg.), ArBYTE. Modernisierung der Industriesoziologie? Berlin, S. 271 - 293.

Biervert, B., Held, M., 1992: Das Evolutorische in der Ökonomik: Neuerungen - Normen - Institutionen. Eine Einführung, in: Biervert, B., Held, M., (Hrsg.), Evolutionäre Ökonomik, Frankfurt/New York, S. 7-22.

Blau, P., M., 1974: On the Nature of Organizations, New York.

Boehme, J., 1986: Innovationsförderung durch Kooperation, Berlin.

Böhme, G., van der Daele, W., Krohn, W., 1978: Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts, Frankfurt.

Böhle, F., 1992: Grenzen und Widersprüche der Verwissenschaftlichung von Produktionsprozessen, Zur industriesoziologischen Verortung von Erfahrungswissen, in: Malsch, T., Mill, U., (Hrsg.), ArBYTE. Modernisierung der Industriesoziologie? Berlin, S. 87-132.

Böhle, F., 1994: Negation und Nutzung subjektivierenden Arbeitshandelns bei neuen Formen qualifizierter Produktionsarbeit, in: Beckenbach, N., Treeck, W.v. (Hrsg.), Umbrüche gesellschaftlicher Arbeit, Sonderheft Soziale Welt 9, Göttingen, S. 183-206.

Böhle, F., Rose, H., 1992: Technik und Erfahrung, Arbeit in hochautomatisierten Systemen, Frankfurt, New York.

Brandt, G., 1984: Marx und die neuere deutsche Industriesoziologie, in: Leviathan, Jg. 12, Heft 2, S. 195-215.

Braczyk, H.-J., 1988: Top down-Bottom up, in: Technische Rundschau, Jg. 49, Heft 88, S. 16-23.

Braczyk, H.-J., von dem Knesebeck, J., Schmidt, G., 1982: Nach einer Renaissance. Zur gegenwärtigen Situation von Industriesoziologie in der Bundesrepublik, in: KZfSS, Sonderheft 24, Materialien zur Industriesoziologie, S. 16-56.

Brasche, W., 1989: Qualifikation - Engpaß im Innovationsprozeß? Berlin.

Braverman, H., 1977: Die Arbeit im modernen Produktionsprozeß, Frankfurt, New York.

Bredeweg, U., Kowol, U., Krohn, W., 1994: Innovationstheorien zwischen Technik und Markt, in: Rammert, W., Bechmann, G., (Hrsg.), Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 7: Konstruktion und Evolution von Technik, Frankfurt, New York, S. 187-205.

Brockhoff, K., 1992: Vor den Zahlen wird gewarnt, in: Manager Magazin, Heft 9, S. 142.

Brödner, P., 1993: Japans Erfolgskonzept: ein Vorbild für den Maschinenbau in Europa, in: Technische Rundschau, Jg. 85, Heft 6, S. 26-32.

Callon, M., Law, J., 1989: On the Construction of Sociotechnical Networks: Content and Context Revisited, in: Knowledge and Society: Studies in the Sociology of Science Past and Present, Vol. 8, S. 57-83.

Campbell, D., T., 1969: Variation and selective retention in socio-cultural evolution, in: General Systems, Vol. 14, S. 69-85.

Centre for the study of industrial Innovation (Ed.), 1972: Success and Failure in Industrial Innovation - Report on Projekt SAPPHO, by the Science Policy Research Unit, University of Sussex, London. (zit. nach: Zörgiebel 1983)

Cohen, W., M., Levin, R., C., 1989: Empirical Studies of Innovation and Market Structure, in: Schmalensee, R., Willig, R., (Eds.), Handbook of Industrial Organization, Band II, Amsterdam, S. 1059-1107.

Constant II., E., W., 1973: A model for Technological Change Applied to the Turbojet Revolution, in: Technology and Culture, Jg. 14, S. 553-572.

Cooke, P., 1996: Der baden-württembergische Werkzeugmaschinenbau: Regionale Antworten auf globale Bedrohungen, in: Braczyk, H., J., Schienstock, G., (Hrsg.), Kurswechsel in der Industrie: Lean Production in Baden-Württemberg, Stuttgart, Berlin, Köln, S. 52-68.

Cramer, U., 1987: Klein- und Mittelbetriebe: Hoffnungsträger der Beschäftigungspolitik? in: Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Heft 1, S. 15-29.

Cronberg, T., Sørensen K., H., 1995: Similar Concerns, Different Styles? Technology Studies in Western Europe. Proccedings of the COST A4 workshop in Ruvaslathi, Finnland, European Commission, Social Science, Volume 4, Brüssel, Luxenburg.

Crozier, M., Friedberg, E., 1979: Macht in Organisationen, Königstein i. Ts.

Cyert, R., M., March, J., G., 1963: A Behavioral Theory of the Firm, Cambridge.

David, P., 1985: Clio and the economics of QWERTY, in: American Economic Review, 75, S. 332-337.

DeBresson, C., Amese, F., 1991: Networks of innovators: A review and introduction to the issue, in: Research Policy, Vol. 20, S. 363-379.

Deiß, M., Döhl, V., Sauer, D., 1990: Technikherstellung und Technikanwendung im Werkzeugmaschinenbau. Automatisierte Werkstückhandhabung und ihre Folgen für die Arbeit, Frankfurt/New York.

Dertouzos, M., L., Lester, R., K., Solow, R., M., 1990: Die Krise der USA. Potential für neue Produktivität "Made in USA", Frankfurt.

Deutsche Welle 1993: Konkurrenzdruck und Krisenstimmung, Interview mit A. Kemna, Vorstandsvorsitzender der Gildemeister AG, Ms. von Hans Dembowski, Köln 6.5.1993.

Deutschmann, C., 1988: Was erklärt die Transaktionskostenanalyse? Einige soziologische Bemerkungen zur Unterscheidung von "Institution" und "Organisation", in: Schmid, G., Deutschmann, C., Grabher, G., 1988: Die neue institutionelle Ökonomie. Kommentare aus politologischer, soziologischer und historischer Perspektive institutioneller Arbeitsmarkttheorie, Berlin, WZB discussion paper FS I 88 - 14, S. 55-66.

de Vries, G., 1995: Should we send Collins and Latour to Dayton, Ohio?, in: EASST Review, Vol. 14, Nr. 4, S. 3-10.

Dierkes, M., 1987: Technikgenese als Gegenstand sozialwissenschaftlicher Forschung - Erste Überlegungen, in: Verbund sozialwissenschaftliche Technikforschung, Mitteilungen 1/87, S. 154-170.

Dierkes, M., 1989: Technikgenese in organisatorischen Kontexten, WZB-paper, FS II 89-104, Wissenschaftszentrum Berlin.

Dierkes, M., Hoffmann, U., (Eds.), 1992: New Technology at the Outset. Social Forces in the Shaping of Technological Innovations, Frankfurt/M.

Dodgson, G., 1993: Organizational Learning: A Review of Some Literatures, in: Organizational Studies, 14, S. 375-394.

Döhl, V., 1989: Die Rolle von Technikanbietern im Prozeß systemischer Rationalisierung, in: Lutz, B., (Hrsg.), Technik in Alltag und Arbeit. Beiträge der Tagung des Verbunds Sozialwissenschaftliche Technikforschung (Bonn, 29./30.5.1989), Berlin, S. 147-166.

Dörr, G., 1991: Die Lücken der Arbeitsorganisation, Neue Kontroll- und Kooperationsformen durch computergestützte Reorganisation im Maschinenbau, Berlin.

Dörr, G., Naschold, F., 1992: Umbrüche im Werkzeugmaschinenbau - eine arbeitspolitische Betrachtung, in: Lehner, F., Schmid, J., (Hrsg.), Technik-Arbeit-Betrieb-Gesellschaft, Opladen, S. 173-190.

Domeyer, V., Funder, M., 1991: Kooperation als Strategie. Eine empirische Studie zu Gründungsprozessen, Organisationsformen, Bestandsbedingungen von Kleinbetrieben, Opladen.

Dosi, G., 1982: Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change, in: Research Policy, Vol. 11, S. 147-162.

Dosi, G., 1983: Technological paradigms and technological trajectories. The determinants and directions of technical change and the transformation of the economy, in: Freeman C., (Ed.), Long waves in the world economy, London, S. 78-101.

Dosi, G., 1988a: Sources, Proedures, and Microeconomic Effects of Innovation, in: Journal of Economic Literature, XXVI, S. 1120-1171.

Dosi, G., 1988b: The nature of the innovative process, in: Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., Soete, L., (Eds.), Technical Changes and Economic Theory, Pinter, London, S. 221-238.

Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., Soete, L., 1988: Technical Changes and Economic Theory, Pinter, London.

Dosi, G., Orsenigo, L., 1988: Coordination and Transformation: An Overview of Structure, Behaviours and Change in Evolutionary Environments, in: Dosi, G., et al., (Eds.), Technical Change and Economic Change Theory, Pinter Publishers, London, New York, S. 13-37.

Dosi, G., Metcalfe, J., S., 1991: On some notion of Irreversibility in Economics, in: Saviotti, P., Metcalfe, J., S., (Eds.), Evolutionary Theories of Economic and Technological Change. Present Status and Future Prospects, S. 133-159.

Dosi, G., Nelson, R., R., 1994: An Introduction to Evolutionary Theories in Economics, in: Journal of Evolutionary Economics, Vol. 4, S. 153-172.

Drexel, I., 1989: Der schwierige Weg zu einem neuen gesellschaftlichen Qualifikationstyp, in: Journal für Sozialforschung, Jg. 29, Heft 3, S. 301-326.

Drexel, I., 1994: Brückenqualifikationen zwischen Facharbeiter und Ingenieur, in: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis, Jg. 23, Heft 4, S. 3-8.

Düll, K., Lutz, B., (Hrsg.), 1989: Technikentwicklung und Arbeitsteilung im internationalen Vergleich, Frankfurt/M, New York.

Edwards, R., 1981: Herrschaft im modernen Produktionsprozeß, Frankfurt/M, New York.

Elliot, J., E., 1980: Marx and Schumpeter on Capitalism's Creative Destruction: A comparative Restatement, in: Quarterly Journal of Economics, Aug., S. 45-68.

Elster, J., 1983: Explaining technical change, Cambridge.

Elzen, B., Enserink, B., Smit, W., A., 1996: Socio-Technical Networks: How a Technology Studies Approach May Help to Solve Problems Related to Technical Change, in: Social Studies of Science, Vol. 26, S. 95-141.

Erdmann, G., 1993: Elemente einer evolutorischen Innovationstheorie, Tübingen.

Fachgemeinschaft Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme im VDMA 1996: Konjunktur und Statistik, Frankfurt/M.

Feigenbaum, E., A., McCorduck, P., 1984: Die Fünfte Computer-Generation. Künstliche Intelligenz und die Herausforderung Japans an die Welt, Basel/Stuttgart.

Fiol, C., M., Lyles, M., A., 1985: Organizational Learning, in: Academy of Mangement Review, 10, S. 803-813.

Fleck, J., Webster, J., Williams, R., 1990: Dynamics of Information Technology Implementation. A reassessment of paradigms and trajectories of development, in: Futures, July/August, S. 618-640.

Floud, R., McCloskey, N., M., (Eds.), 1981: The Economic History of Britain since 1700, Band 1, Cambridge. (zit. nach Paulinyi 1989)

Fogel, R., 1964: Railroads and American Economic Growth, John Hopkins University Press, Baltimore (zit. nach: Rosenberg 1982).

Fox, A., 1974: Beyond Contract: Work, Power, and Trust Relations, London.

Freeman, C., 1988: Technology Policy and Economic Performance. Lessons from Japan, London.

Freeman, C., 1991: Networks of Innovators: A sysnthesis of research issues, in: Research Policy, Vol. 20, 499-514.

Freeman, C., Soete, L., (Eds.), 1990: New Explorations in the Economics of Technical Change, London & New York.

Freeman, C., Perez., C., 1988: Structual crises of adjustment: business cyles and investment behaviour, in: Dosi, G., et al., (Eds.), Technical Change and Economic Theory, London and New York, S. 38-66.

Friedman, A., 1977: Industry and Labour. Class Struggle at Work and Monopoly Capitalism. London.

Fruin, W., M., 1992: The Japanese enterprise system: Competitive strategies and coperative structures, Oxford.

Fuchs, M., 1994: Forschungslinien im Maschinenbau. Relevanzstrukturen der technikwissenschaftlichen Forschung an Hochschulen, in: ZfS, Jg. 23, H. 1, S. 41-55.

Fuchs, V., 1968: The Service Economy, New York. (Zit. nach: Gartner, Riessman 1978)

Fuchs-Frohnhofen, P., Lorscheider, B., Mertens, R., Wollenweber, D., 1993: Innovationen im Werkzeugmaschinenbau: facharbeiterorientierte und gruppenarbeitsgerechte Werkzeugmaschinentechnik, Aachen.

Galbraith, J., K., 1975: Technostruktur und Gesellschaftssystem, in: Fürstenberg, F., (Hrsg.), Industriesoziologie, Bd. III, Darmstadt, S. 307-316.

Gambetta, D., 1988: Can we trust trust?, in: Gambetta, D., (Ed.), Trust. Making and Breaking Cooperative Relations, New York, S. 213-237.

Gartner, A., Riessman, F., 1978: Der aktive Konsument in der Dienstleistungsgesellschaft. Zur politischen Ökonomie des tertiären Sektors, Frankfurt/M.

Gaßner, H., Holznagel, B., Lahl, U., 1992: Mediation. Verhandlungen als Mittel der Konsensfindung bei Umweltstreitigkeiten, Bonn.

Giddens, A., 1990: The Consequences of Modernity, Cambridge.

Gilfillan, S., C., 1935: The Sociology of Invention, Chicago.

Gillispie, C., 1957: The Natural History of Industry, Isis, 48, (zit. nach: Rosenberg 1982).

Glasmeier, A., Sugiura, N., 1991: Japan's Manufacturing System: Small Business, Subcontracting and Regional Complex Formation, in: International Journal of Urban and Regional Research, Vol. 15, Number 3, S. 395-414.

Grabher, G., 1988: Unternehmensnetzwerke und Innovation. Veränderungen in der Arbeitsteilung zwischen Groß- und Kleinunternehmen im Zuge der Umstrukturierung der Stahlindustrie (Ruhrgebiet) und der Chemischen Industrie (Rhein/Main), WZB discussion papers FF I 88 - 20, Berlin.

Grabher, G., 1993: Rediscovering the social in the economic of interfirm relations, in: Grabher, G., (Ed.), The Embedded Firm: On the Socio-Economics of Industrial Network, London, S. 1-31.

Grabher, G., (Ed.), 1993: The Embedded Firm. On the Socioeconomics of Industrial Networks, London.

Granovetter, M., 1985: Economic action and social structure. The problem of embeddedness, AJS, Bd. 91, Nr. 3, S. 481-510.

Grazis, D., C., 1979: Influence of Technology on Science: A Comment on some Experiences at IBM Research, in: Research Policy 8, S. 244-259 (zit. nach: Hack 1989).

Grundmann, R., 1994: Gibt es eine Evolution von Technik? Überlegungen zum Automobil und zur Evolutionstheorie, in: Rammert, W., Bechmann, G., (Hrsg.), Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 7, Frankfurt/M., New York, S. 13-40.

Grupp, H., (Hrsg.), 1992: Dynamics of Science based innovations, Berlin, Heidelberg, New York.

Hack, L., 1988: Vor Vollendung der Tatsachen. Die Rolle von Wissenschaft und Ideologie in der dritten Phase der Industriellen Revolution, Frankfurt/M.

Hack, L., 1989: Die schwarze Büchse der Pandora, in: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes NRW ILS, (Hrsg.), Technikgestaltung in der Stadt und Regionalentwicklung, Dortmund, S. 22-41.

Hagedoorn, J., 1995: Strategic technology partnering during the 1980s: trends, networks and corporate patterns in non-core technologies, in: Research policy, Vol. 24, Nr. 2, S. 207-231.

Hagedoorn, J., Schakenraad, J., 1990: Inter-firm partnerships and co-operative strategies in core

technologies, in: Freeman, C., Soete, L., (Eds.), New Explorations in the Economics of Technical Change, London & New York, S. 3-37.

Halfmann, J., 1995: Kausale Simplifikation. Grundlagenprobleme einer Theorie der Technik, in: Halfmann, J., Rammert, W., Bechmann, G., (Hrsg.), Jahrbuch Technik und Gesellschaft 8, Frankfurt/New York, S. 211-226.

Halfmann, J., Rammert, W., Bechmann, G., (Hrsg.), 1995: Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 8, Theoriebausteine der Techniksoziologie, Frankfurt/New York.

Haken, H., 1988: Entwicklungslinien der Synergetik, in: Naturwissenschaften, Heft 75, S. 163-172 und S. 225-234.

Hanusch, H., Cantner, U., 1993: Neuere Ansätze in der Innovationsökonomie und der Theorie des Technischen Wandels - Konsequenzen für eine Industrie- und Technologiepolitik, in: Meyer-Krahmer, F., (Hrsg.), Innovationsökonomie und Technologiepolitik, Heidelberg, S. 11-46.

Häusler, J., 1989: Zur Gegenwart der 'Fabrik der Zukunft'. Forschungsaktivitäten im bundesdeutschen Maschinenbau, MPI Köln, unveröff. Manuskript.

Häusler, J., 1990: Adapting to an uncertain environment - R&D in the West German Machine-Building Industry, MPI Köln, unveröff. Manuskript.

Heisig, U., Littek, W., 1995: Wandel von Vertrauensbeziehungen im Arbeitsprozeß, in: Soziale Welt, Jg. 46, Heft 3, S. 282-304.

Helou, A., 1991: The Nature of Competitiveness of Japan's Keiretsu, in: The Journal of World Trade, Vol. 25, S. 99-131.

Herbold, R., Krohn, W., Weyer, J., 1991: Technikentwicklung als soziales Experiment, in: Joerges, B. (Hrsg.), Wissenschaft, Technik, Modernisierung. Verhandlungen der Sektion Wissenschaftsforschung der Deutschen Gesellschaft für Soziologie beim 25. Deutschen Soziologentag in Frankfurt, Oktober 1990, WZB-papers FS II 91-503, S. 76-95.

Herbold, R., Wienken, R., 1993: Experimentelle Technikgestaltung und offene Planung. Strategien zur sozialen Bewältigung von Unsicherheit am Beispiel der Abfallbeseitigung. IWT-Forschungsbericht, Bielefeld.

Héritier, A., 1995: Innovationsmechanismen europäischer Politik: Regulativer Wettbewerb und neue Koalitionsmöglichkeiten in europäischen Politiknetzwerken, in: Jansen, D., Schubert, K., (Hrsg.), Netzwerke und Politikproduktion: Konzepte, Methoden, Perspektiven, Marburg, S. 205-221.

Herrigel, G., 1993: Power and the Redefinition of Industrial Districts. The Case of Baden-Württemberg, in: Grabher, G., (Ed.), The Embedded Firm. On the Socioeconomics of Industrial Networks, London, S. 227-251.

Herzog, H., H., 1993: Kommentar: Eine CIM-Fabrik aus dem Lehrbuch, in: Technische Rundschau, Jg. 85, Heft 33, S. 14.

Hildebrandt, E., (Hrsg.), 1991: Betriebliche Sozialverfassung unter Veränderungsdruck. Konzepte, Varianten, Entwicklungstendenzen, Berlin.

Hildebrandt, E., Seltz, R., 1989: Wandel betrieblicher Sozialverfassung durch systemische Kontrolle? Die Einführung computergestützter Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im bundesdeutschen Maschinenbau, Berlin.

Hilpert, H., G., 1994: Strategische Unternehmensverflechtungen in Japan (Keiretsu) und ihre Relevanz für den Maschinenbau und die Halbleiterindustrie, in: IFO Japan Studienstelle (Hrsg.), Japan: Analysen, Prognosen, Nr. 91/92 Januar/Februar, München, S. 1-28.

Hippel von, E., 1977: A Customer-active-Paradigm for Industrial Product Idea Generation, Working Paper, in: Sloan School of Management, Massachussetts Institut of Technology, S. 935-977.

Hippel von, E., Tyre, M., J., 1995: How learning by doing is done: problem identification in novel process equipment, in: Research Policy, Vol. 24, Nr. 1, S. 1-12.

Hirschhorn, L., 1984: Beyond Mechanization: Work and Technology in a Postindustrial Age., Cambridge, MA.

Hirsch-Kreinsen, H., 1989: Entwicklung einer Basistechnik - NC-Steuerungen von Werkzeugmaschinen in den USA und der Bundesrepublik, in: Düll, K., Lutz, B., (Hrsg.), Technikentwicklung und Arbeitsteilung im internationalen Vergleich. Fünf Aufsätze zur Zukunft industrieller Arbeit, Frankfurt/M., New York, S. 161-211.

Hirsch-Kreinsen, H., 1993: NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozeß. Amerikanische und deutsche Innovationsmuster der Fertigungstechnik, Frankfurt/M, New York.

Hirsch-Kreinsen, H., 1994: Innovationspotentiale und Innovationsprobleme des Werkzeugmaschinenbaus. Zum Verhältnis von Verwissenschaftlichung und industrieller Praxis, in: WSI-Mitteilungen, Jg. 47, Heft 2, S. 94-102.

Hirschman, A., O., 1982: Abwanderung und Widerspruch, Tübingen.

Hoffmann, J., 1994: Implizite Theorien in der Politik, Opladen.

Hoffmann, R.-W., 1979: Die Verwissenschaftlichung der Produktion und das Wissen der Arbeiter, in: Böhme, G., Engelhardt, M.v., (Hrsg.), Entfremdete Wissenschaft, Frankfurt/M., S. 229-256.

Hörning, K.-H., 1995: Technik und Kultur. Ein verwickeltes Spiel der Praxis, in: Halfmann, J., Rammert, W., Bechmann, G., (Hrsg.), Jahrbuch Technik und Gesellschaft, Bd. 8, Theoriebausteine der Techniksoziologie, Frankfurt/M., New York, S. 131-151.

Hoß, D., 1988: Innovationsarbeit und Rationalisierungsmuster. Zur internationalen Automationsforschung, in: Projektgruppe Automation und Qualifikation (Hrsg.), Bd. 8, Politik um die Arbeit, Berlin, S. 34-49.

Hübner, K., 1989: Theorie der Regulation - Eine kritische Rekonstruktion eines neuen Ansatzes der politischen Ökonomie, Berlin.

Hughes, T., P., 1987: The Evolution of Large Technological Systems. In: Bijker, W., E., Hughes, T., P., Pinch, T., J., (Eds.), The Social Construction of technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology, Cambridge.

Hunsdiek, D., 1987: Unternehmensgründung als Folgeinnovation - Struktur, Hemmnisse und Erfolgsbedingungen der Gründung industrieller innovativer Unternehmen. Schriften zur Mittelstandsforschung, Nr. 16, NF, Stuttgart.

Imai, K., Itami, H., 1984: Interpenetration of Organization and Market, in: International Journal of Industrial Organization, 2, S. 285-310.

Japp, K., D., 1994: Die Technik der Gesellschaft, (Vortragsmanuskript), Sektionssitzung "Die Technik der Soziologie", 25/26 November 1994, FU Berlin.

Japp, K., P., 1996: Soziologische Risikotheorie, München.

Jansen, D., Schubert, K., 1995: Netzwerkanalyse, Netzwerkforschung und Politikproduktion: Ansätze zur 'cross-fertilization', in: Dies., (Hrsg.), Netzwerke und Politikproduktion, Marburg, S. 9-23.

Joerges, B., 1995: Prosopopoietische Systeme, Probleme konstruktivistischer Technik, in: Halfmann, J., Bechmann, G., Rammert , W., (Hrsg.), Technik und Gesellschaft, Band 8, Theoriebausteine der Techniksozologie, Frankfurt/M., New York, S. 31-48.

Johanisson, B., 1987: Anarchist and Organizers: Entrepreneurs in a Network Perspective, in: International Studies of Management & Organization, Vol. 17, No. 1, S. 49-63.

Johanson, J., Mattsson, L., G., 1987: Interorganizational Relations in Industrial Systems: A Network Approach Compared with the Transaction-Cost Approach. International Studies of Management & Organization, Vol. 17, S. 34-48.

Johnson, B., 1992: Institutional Learning, in: Lundvall, B.-A., (Ed.), National Systems of Innovation. Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning, London and New York, S. 23-44.

Jovanovic, B., Rob, R., 1987: Demand-Driven Innovation and Static Competition over Time, in: Review of Economic Studies, Vol. 54, S. 63-72.

Kalkowski, P., Mickler, O., Manske, F., 1995: Technologiestandort Deutschland, Berlin.

Kämper, E., 1995: Die Organisation des technischen Wandels: Der Beitrag der Organisationstheorie zur Innovationsforschung, unveröffentlichte Diplomarbeit, Bielefeld.

Kammerer, G., Lutz, B., Nuber, C., 1973: Ingenieure im Produktionsprozeß, Frankfurt/M.

Kern, H., Schumann, M., 1970: Industriearbeit und Arbeiterbewußtsein. Eine empirische Untersuchung über den Einfluß der aktuellen technischen Entwicklung auf die industrielle Arbeit und das Arbeiterbewußtsein. Band I und II, Frankfurt/M.

Kern, H., Schumann, M., 1984: Das Ende der Arbeitsteilung? Rationalisierung in der industriellen Produktion, München.

Kerst, C., Steffensen, B., 1995: Die Krise des baden-württembergischen Maschinenbaus im Spiegel des NIFA-Panels, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Arbeitsbericht Nr. 49. Stuttgart.

Kieser, A., 1984: Organisation der industriellen Forschung und Entwicklung, in: Domsch, M., Jochum, E., (Hrsg.), Personal-Management in der industriellen Forschung und Entwicklung (F&E), Köln, S. 48-68.

Kieser, A., (Hrsg.), 1994: Organisationstheorien, Stuttgart, Berlin, Köln.

Kirsch, W., 1992: Kommunikation, Handeln, Autopoiese, Rationalität, München.

Kitschelt, H., 1985: Materiale Politisierung der Produktion. Zeitschrift für Soziologie, Jg. 14, Heft 3, S. 188-208.

Kleinknecht, A., 1984: Innovation Pattern in Crisis and Prosperity: Schumpeter's Long Cycle Reconsidered, Enschede.

Knie, A., 1989a: Das Konservative des technischen Fortschritts, WZB-paper, FS II 89-101, Wissenschaftszentrum Berlin, Berlin.

Knie, A., 1989b: "Generierung" und "Härtung" technischen Wissens, Wissenschaftszentrum Berlin, discussion paper, FS II S. 91-103.

Knie, A., 1994: Wankel-Mut in der Automobilindustrie - Anfang und Ende einer Antriebsalternative, Berlin.

Knight, F., 1921: Risk, uncertainty and profit, Houghton, Boston.

Knight, K., 1967: A Descripive Model of the Intra-Firm Innovation Process, in: Journal of Buisiness, Vol. 40, S. 493. (Zit. nach: Rosenberg 1982: S. 65.)

Knorr-Cetina, K., 1984: Die Fabrikation von Erkenntnis, Frankfurt/M.

Kondratieff, N., D., 1926: Die langen Wellen der Konjunktur, in: Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik, Bd. 56, Tübingen.

Kotthoff, H., Reindl, J., 1990: Die soziale Welt kleiner Betriebe: Wirtschaften, Arbeiten und Leben im mittelständischen Industriebetrieb, Göttingen.

Kowol, U., Krohn, W., 1995: Innovationsnetzwerke. Ein Modell der Technikgenese, in: Rammert, W., Bechmann, G., Halfmann, J., (Hrsg.), Jahrbuch Technik und Gesellschaft 8, Frankfurt/M, New York, S. 77-105.

Kowol, U., Krohn, W., 1997: Modernisierungsdynamik und Innovationslethargie. Auswege aus der Modernisierungsklemme , in: Blättel-Mink, B., Renn, O., (Hrsg.), Zwischen System und Akteur. Die Organisierung von Innovation, Opladen, S. 39-65.

Krohn, W., 1989: Die Verschiedenheit der Technik und die Einheit der Techniksoziologie, in: Weingart, P., (Hrsg.), Technik als sozialer Prozeß, Frankfurt/M, S. 15-43.

Krohn, W., 1995: Die Innovationschancen partizipatorischer Technikgestaltung und diskursiver Konfliktregulierung, IWT-Paper-9, Bielefeld.

Krohn, W., Küppers, G., 1989a: Die Selbstorganisation der Wissenschaft, Frankfurt/M.

Krohn, W., Küppers, G., 1989b: Rekursives Durcheinander in: Kursbuch, Heft 98, S. 69-81.

Krohn, W., Küppers, G., 1989c: Self-Organization: A New Approach to Evolutionary Epistemology In: Hahlweg, K., Hooker, C., A., (Eds.), Issues in Evolutionary Epistemology, New York.

Krohn, W., Küppers, G., 1995: Theorien der Selbstorganisation und Autopoiese, MS. Bielefeld.

Krohn, W., Krücken, G., (Hrsg.), 1993: Riskante Technologien. Reflexion und Regulation, Frankfurt/M.

Krohn, W., Rammert, W., 1985: Technologieentwicklung: Autonomer Prozeß und industrielle Strategie, in: Lutz, B., (Hrsg.), Soziologie und gesellschaftliche Entwicklung. Verhandlungen des 22. Deutschen Soziologentages in Dortmund 1984, Frankfurt/M., New York, S. 411-433.

Krohn, W., Weyer, J., 1989: Gesellschaft als Labor. Die Erzeugung sozialer Risiken durch experimentelle Forschung, in: Soziale Welt, Jg. 40, S. 349-373.

Krupa, E., 1994: Why do some markets die so slowly? The case of CFCs, discussion paper, FS IV 94-13, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Berlin.

Kudera, W., 1992: Die Crux mit den kleinen Zahlen - zum Generalisierungsproblem bei qualitativer Sozialforschung, in: Lehner, F., Schmid, J., (Hrsg.), Technik - Arbeit - Betrieb - Gesellschaft, Opladen, S. 191-203.

Kuhn, Th. S., 1976: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Frankfurt.

Küppers, G., 1995: Selbstorganisation: Selektion durch Schließung, Ms. Bielefeld.

Küppers, G., Krohn, W., 1992: Zur Emergenz systemspezifischer Leistungen, in: Krohn, W., Küppers, G., (Hrsg.), Emergenz: Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung, Frankfurt/M., S. 161-188.

Langrish, J., Gibbons, M., Evans, W., G., Jevons, F., R., 1972: Wealth from Knowledge: A Study of Innovation in Industry, New York.

Lamnek, S., 1988: Qualitative Sozialforschung Bd. I, München.

Lappe, D., 1986: Technologie, Qualifikation und Kontrolle. Die Labour-Process-Debatte aus der Sicht der deutschen Industriesoziologie, in: Soziale Welt, Jg. 37, Heft 2/3, S. 310ff.

Latour, B., 1994: Pragmatogonies: A Mythical Account of How Humans and Nonhumans Swap Properties, in: American behavioral scientist, Vol. 37, Nr. 6, 791-808.

Latour, B., 1995: Wir sind nie modern gewesen. Versuch einer symmetrischen Anthropologie, Berlin.

Lawrence, P. R., Lorsch, J. W., 1967: Organization and Environment - Managing Differentiation an Integration, Homewood.

Lee, N., Brown, S., 1994: Otherness and the Actor Network, in: American behavioral scientist, Vol. 37 Nr. 6, S. 772-790.

Leibinger, B., 1992: Die neue Qualität der technischen Entwicklung am Beispiel des Maschinenbaus, Plenarvortrag auf dem zweiten Ingenieurkongreß der Friedrich-Ebert-Stiftung in Köln am 18. Mai 1992, Ms.

Leydesdorff, L., Besselaar, P.v.d., (Eds.), 1994: Evolutionary Economics and Chaos Theory. New Directions in Technology Studies, London.

Luhmann, N., 1972: Funktionen und Folgen formaler Organisation, Berlin.

Luhmann, N., 1981: Organisation und Entscheidung, in: Soziologische Aufklärung, Bd. 3, Soziales System, Gesellschaft, Organisation, Opladen, S. 335-389.

Luhmann, N., 1984: Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie, Frankfurt/M.

Luhmann, N., 1988: Familiarity, Confindence, Trust: Problems and Alternatives, in: Gambetta, D., (Ed.), Trust. Making and Breaking Cooperative Relations, New York, S. 94-107.

Luhmann, N., 1990: Die Wissenschaft der Gesellschaft, Frankfurt/M.

Luhmann, N., 1992: Beobachtungen der Moderne, Opladen.

Luhmann, N., 1994: Die Gesellschaft und ihre Organisationen, in: Derlien, H.-U., Gerhardt, U., Scharpf, F.-W., (Hrsg.), Systemrationalität und Partialinteresse, Festschrift für Renate Mayntz, Baden-Baden, S. 189-201.

Lundvall, B.-A., 1988: Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation, in: Freeman, C., (Ed.), S. 349-369.

Lundvall, B.-A., (Ed.), 1992: National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning, London.

Lutz, B., 1969: Produktionsprozeß und Berufsqualifikation, in: Adorno, Th., (Hrsg.), Spätkapitalismus oder Industriegesellschaft? Verhandlungen des 16. Deutschen Soziologentages in Frankfurt, Stuttgart, S. 227-250.

Lutz, B., (Hrsg.), 1987: Technik und sozialer Wandel, Frankfurt.

Lutz, B., 1993: Informatik und Produktionsintelligenz als Gegenstand eines neuen sozialen Konflikts? in: Schäfer, B., (Hrsg.), Lebensverhältnisse und soziale Konflikte im neuen Europa, Verhandlungen des 26. Deutschen Soziologentages in Düsseldorf 1992, Frankfurt/M., New York, S. 763-773.

Lutz, B., Kammerer, G., 1975: Das Ende des graduierten Ingenieurs, Frankfurt/M.

Lutz, B., Schmidt, G., 1977: Industriesoziologie, in: König, R., (Hrs), 1977: Handbuch der empirischen Sozialforschung, Bd. 8, (2. Aufl.), S. 101-262, Stuttgart.

Lutz, B., Veltz, P., 1989: Maschinenbauer versus Informatiker - Gesellschaftliche Einflüsse auf die fertigungstechnische Entwicklung in Deutschland und Frankreich, in: Düll, K., Lutz, B., (Hrsg.), Technikentwicklung und Arbeitsteilung im internationalen Vergleich, Frankfurt/New York, S. 213-285.

Macneil, I., 1985: Relational contract: What we do and do not know. Wisconsin Law Review, No. 3, S. 483-526.

Macneil, I., R., 1991: Reflections on Relational Contract, in: Furubotn, E., G., Richter, R., (Ed.), The New Institutional Economic, Tübingen, S. 83-88.

Maidique, M., A., Patch, P., 1980: Corporate Strategie and Technological Policy, in: Harvard Business School, Working Paper, No. 9-679-033, Nr. 3.

Malsch, Th., 1987: Die Informatisierung des betrieblichen Erfahrungswissens und der Imperialismus der instrumentellen Vernunft, in: Zeitschrift für Soziologie, Jg. 16, Nr. 2, S. 77-91.

Malsch, Th., 1989: Flexibilisierung der Massenproduktion in der Automobilindustrie und ihre arbeitspolitischen Gestaltungsperspektiven, in: Pries, L., Schmidt, R., Trinczek, R., (Hrsg.), Trends betrieblicher Produktionsmodernisierung, Opladen, S. 139-185.

Malsch, T., Mill, U., (Hrsg.), 1992: ArBYTE. Modernisierung der Industriesoziologie? Berlin.

Malsch, T., Seltz, R., (Hrsg.), 1987: Die neuen Produktionskonzepte auf dem Prüfstand, Beiträge zur Entwicklung der Industriearbeit, Berlin.

Manz, T., 1990: Innovationsprozesse in Klein- und Mittelbetrieben, Soziale Prozesse bei der Einführung neuer Technologien, Opladen.

Marin, B., Mayntz, R., (Eds.), 1991: Policy Networks: Empirical Evidence and Theoretical Considerations, Frankfurt/M.

Martin, H., Rose, H., 1990: Erfahrungswissen sichern statt ausschalten, in: Technische Rundschau, Jg. 82, Heft 12, S. 34-37.

Marx, K., 1974: Das Kapital, Dritter Band, MEW 25, Berlin (Ost).

Maturana, H., Varela, F., 1987: Der Baum der Erkenntnis, Bern, München, Wien.

Maurice, M., Sorge, A., 1990: Industrielle Entwicklung und Innovationsfähigkeit der Werkzeug-

maschinenhersteller in Frankreich und der Bundesrepublik Deutschland, WZB discussion papers, FS I 90 - 11. Berlin.

Mayntz, R., 1992: Modernisierung und die Logik von interorganisatorischen Netzwerken, in: Journal für Sozialforschung, 32. Jg., Heft 1, S. 19-32.

Mayntz, R., 1993: Große technische Systeme und ihre gesellschaftstheoretische Bedeutung, in: KZfSS, Jg. 45, H. 1, S. 97-108.

Mayntz, R., Schneider, V., 1995: Akteurzentrierter Institutionalismus in der Technikforschung - Fragestellungen und Erklärungsansätze, in: Halfmann, J., Bechmann, G., Rammert, W., (Hrsg.), Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 8: Theoriebausteine der Techniksoziologie, Frankfurt/New York, S. 107-130.

Menger, C., 1923: Grundsätze der Volkswirtschaftslehre, 2. Auflage, Wien.

Mensch, G., 1971: Zur Dynamik des technischen Fortschritts, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 41, Nr. 5, S. 295-314.

Mensch, G., 1975: Das technologische Patt, Frankfurt/M.

Mickler, O., Dittrich, E., Neumann, U., 1976: Technik, Arbeitsorganisation und Arbeit. Eine empirische Untersuchung in der automatisierten Produktion, Frankfurt/M.

Mill, U., Weißbach, H.-J., 1992: Vernetzungswirtschaft, in: Malsch, T., Mill, U., (Hrsg.), ArBYTE. Modernisierung der Industriesoziologie? Berlin, S. 315-342.

Mizruchi, M., S., 1994: Social Network Analysis: Recent Achievments and Current Controversies, in: Acta sociologica, Vol. 37, Nr. 4, S. 329-343.

Mommertz, K.H., 1981: Bohren, Drehen und Fräsen. Geschichte der Werkzeugmaschinen, Hamburg.

Monse, K., 1992: Zwischenbetriebliche Vernetzung in institutioneller Perspektive, in: Malsch, T., Mill, U., (Hrsg.), ArBYTE. Modernisierung der Industriesoziologie? Berlin, S. 295-314.

Moritz, E., F., 1994: Ein Vergleich von Strategien und Vorgehensweisen in der Produktinnovation in Japan und Deutschland am Beispiel des Werkzeugmaschinenbaus, Diss., München, Tokio.

Mowery, D.,C., 1983: The relationship between intrafirm and contractual forms of industrial research in American manufacturing, 1900-1940. Explorations in Economic History, Bd. 20, S. 351-374.

Mowery, D., C., Rosenberg, N., 1982: The influence of market demand upon innovation: A critical review of some recent empirical studies, in: Rosenberg, N., (Ed.), Inside the black box, Cambridge: University Press, S. 193-241.

Myers, S., Marquis, D., 1969: Successful Industrial Innovations, National Science Foundation (NSF), No. 69-17.

Nelson, R., R., 1990: Capitalism as an engine of progress, in: Research Policy, Bd. 19, S.193-214.

Nelson, R., R., (Ed.), 1993: National Innovation Systems. A Comparative Analysis, Oxford.

Nelson, R., Winter, S., 1976: Technical change in an evolutionary model, in: Quarterly Journal of Economics Vol. 90, S. 90-118.

Nelson, R., Winter, S., 1977: In Search of a Useful Theory of Innovation, in: Research Policy, 6, S. 36-76.

Nelson, R., Winter, S., 1982: An evolutionary theory of economic change, Cambridge: Harvard UP.

Niebur, J., 1987: Zur Bedeutung von Wirtschaftlichkeitsberechnungen bei betrieblichen Beschaffungsentscheidungen, in: Braczyk, H.-J., Kerst, C., Niebuhr, J., (Hrsg.), Eine starke Behauptung ist besser als ein schwacher Beweis. Beschaffungsentscheidungen im Betrieb, Bonn, S. 63-94.

Noble, D., 1978: Social Choice in Machine Design, in: Politics and Society, Vol., 8, S. 313-347.

Noble, D., F., 1986: Forces of Production. A Social History of Industrial Automation, New York.

Nussbaum, B., 1983: The World after Oil. The Shifting Axes of Power and Wealth. New York.

Offe, C., 1970: Leistungsprinzip und industrielle Arbeit, Frankfurt/Köln.

Office of the Director of Defense Research and Engineering, 1969: Projekt HINDSIGHT, Final Report, Washington D.C.

Ogburn, W., F., 1922: Social Change, New York.

Ortmann, G., 1994: Dark Stars - Institutionelles Versagen in der Industriesoziologie? in: Beckenbach, N., Treeck, W.v., (Hrsg.), Umbrüche gesellschaftlicher Arbeit, Soziale Welt, Sonderband 9, Göttingen, S. 85-118.

Paulinyi, A., 1989: Industrielle Revolution. Vom Ursprung der modernen Technik, Reinbek bei Hamburg.

Perrow, C., 1987: Normale Katastrophen. Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik, Frankfurt/M., New York.

Pinch, T., J., Bijker, W., E., 1987: The Social Construction of Facts and Artefacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology might Benefit each other, in: Bijker, W., E., Hughes, T., P., Pinch, T., J., (Eds.), The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology, Cambridge (Mass.), London: MIT Press, S. 17-50.

Piore, M., J., Sabel, Ch., F., 1989: Das Ende der Massenproduktion. Studie über die Requalifizierung der Arbeit und die Rückkehr der Ökonomie in die Gesellschaft, Berlin.

Pötsch, H., D., 1991: Wir brauchen ein schlankeres Unternehmen, in: CIM-Praxis, Heft 6, S. 84-87.

Pohlmann, M., 1996: Antagonistische Kooperationen und distributive Macht: Anmerkungen zur Produktion in Netzwerken, in: Soziale Welt, Jg. 27, Heft 1, S. 44-67.

Polanyi, M., 1967: Implizites Wissen, Frankfurt/M.

Politsch, , H., W., 1993: CIM braucht offene Architekturen, in: Technische Rundschau, Jg. 85, Heft 8, S. 20-26.

Powell, W., W., 1990: Neither Market nor Hierarchy: Network forms of organization, in: Research in Organizational Behavior, Vol. 12, S. 295-336.

Powell, W., W., Koput, K., W., Smith-Doerr, L., 1996: Interorganizational Collaboration and the Locus of Innovation: Networks of Learning in Biotechnology, in: Administrative Science Quarterly, 41, March, S. 116-145.

Prigogine, I., Stengers, I., 1981: Dialog mit der Natur, München.

Probst, G., J.; Büchel, B., S., 1994: Organisationales Lernen, Wettbewerbsvorteil der Zukunft, Wiesbaden.

Projektgruppe Automation und Qualifikation (PAQ), 1987: Widersprüche der Automationsarbeit. Ein Handbuch, Berlin.

Pyke, F., Sengenberger, W., (Eds.), 1992: Industrial districts and local economic regeneration, Geneva.

Rammert, W., 1987: Konturen der Techniksoziologie. Begriffe, Entwicklungen und Forschungsfelder einer neuen soziologischen Teildisziplin, Arbeitsberichte und Forschungsmaterialien des Forschungsschwerpunkt "Zukunft der Arbeit", Nr. 20 (April 1987), Universität Bielefeld.

Rammert, W., 1988a: Technikgenese - Ein Überblick über Studien zum Entstehungszusammenhang neuer Techniken, in: KZfSS Jg. 40, Heft 4, S. 747-761.

Rammert, W., 1988b: Das Innovationsdilemma. Technikentwicklung in Unternehmen, Opladen.

Rammert, W., 1989: Technisierung und Medien in Sozialsystemen - Annäherungen an eine soziologische Theorie der Technik, in: Weingart, P., (Hrsg.), Technik als sozialer Prozeß, Frankfurt/M., S. 128-173.

Rammert, W., 1992a: Neue Technologien - neue Begriffe? in: Malsch, T., Mill, U., (Hrsg.), ArBYTE. Modernisierung der Industriesoziologie? Berlin, S. 29-51.

Rammert, W., 1992b: Wer oder was steuert den technischen Fortschritt? Technischer Wandel zwischen Steuerung und Evolution, in: Soziale Welt, Jg. 43, Heft 1, 7-25.

Rammert, W., 1993: Technik aus soziologischer Perspektive: Forschungsstand, Theorieansätze, Fallbeispiele. Ein Überblick, Opladen.

Rammert, W., 1994a: Editorial: Konstruktion und Evolution von Technik, in: Rammert, W., Bechmann, G., (Hrsg.), Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 7, Konstruktion und Evolution von Technik, Frankfurt/New York, S. 7-11.

Rammert, W., 1994b: Die Technik in der Gesellschaft, Forschungsfelder und theoretische Leitdifferenzen im Deutschland der 90er Jahre, in: Verbund Sozialwissenschaftliche Technikforschung, Heft 1, Berlin.

Rammert, W., 1995: Regeln der technikgenetischen Methode. Die soziale Konstruktion der Technik und ihre evolutionäre Dynamik, in: Halfmann, J., Rammert, W., Bechmann, G., (Hrsg.), Jahrbuch Technik und Gesellschaft, Bd. 8, Theoriebausteine der Techniksoziologie, Frankfurt/-New York, S. 13-30.

Rammert, W., Bechmann, G., (Hrsg.), 1994: Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 7: Konstruktion und Evolution von Technik, Frankfurt/M., New York.

Rauner, F., Ruth, K., 1988: Industriekulturelle Determinanten des CNC-Werkzeugmaschinenbaus im Vergleich Bundesrepublik Deutschland - USA, in: Werkstatt und Betrieb, Heft 12, S. 950-952.

Rose, H., 1991: Bedeutung des Erfahrungswissens für die Bedienung von CNC-Maschinen, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, Jg. 86, Heft 1, S. 45-48.

Rosenberg, N., 1975: Technischer Fortschritt in der Werkzeugmaschinenbauindustrie 1840-1910, in: Hausen, K., Rürup, R., (Hrsg.), Moderne Technikgeschichte, Köln, S. 216-242.

Rosenberg, N., 1976: Marx as a Student of Technology, in: Monthly Review 28, S. 56-77; wiederabgedruckt in: ders., 1982: Inside the Black Box. Technology and Economics, Cambridge University Press, S. 34-51.

Rosenberg, N., 1982: Inside the black box. Technology and Economics, Cambridge, University Press.

Rothwell, R., 1989: Small Firms, Innovation and Industrial Change, in: Small Business Economics, 1, Januar, S. 51-64.

Sahlins, M., 1972: Stone age economics, Chicago.

Scherer, F., M., 1991: Changing Perspectives on the Firm Size Problem, in: Acs, Z., J., Audretsch, D., B., (Eds.), Innovation and Technological Change: An International Comparsion, Ann Arbor: University of Michigan Press, S. 24-38.

Schimank, U., 1986: Technik, Subjektivität und Kontrolle in formalen Organisationen, in: Seltz, R., Mill, U., Hildebrandt, E., (Hrsg.), Organisation als soziales System. Berlin, S. 71-91.

Schiepek, G., Küppers, G., Mittelmann, K., Strunk, G., 1995: Kreative Problemlösungsprozesse in Kleingruppen, in: Langthaler, W., Schiepek, G., (Hrsg.), Selbstorganisation und Dynamik in Gruppen, Münster, S. 236-254.

Schmid, G., Deutschmann, Ch., Grabher, G., 1988: Die neue institutionelle Ökonomie. Kommentare aus politologischer, soziologischer und historischer Perspektive institutioneller Arbeitsmarkttheorie, WZB, discussion paper FS I 88-14, Berlin.

Schmidt, A., 1993: Der mögliche Beitrag der Kooperation zum Innovationserfolg - Empirische Ergebnisse einer Fallstudienuntersuchung, Wissenschaftszentrum Berlin, FS IV 93-14.

Schmidt, G., 1980: Zur Geschichte der Industriesoziologie in Deutschland, in: Soziale Welt, Jg. 31, S. 257-278.

Schmidt, S., K., Werle, R., 1994: Koordination und Evolution, Technische Standards im Prozeß der Entwicklung technischer Systeme, in: Rammert, W., Bechmann G., (Hrsg.), Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 7, Frankfurt/New York, S. 95-126.

Schmookler, J., 1966: Invention and economic growth, Cambridge.

Schmutzer, M., 1995: Sprache und Technologien. Ein Ausdruck von Lebensform, in: Halfmann, J., Rammert, W., Bechmann, G., (Hrsg.), Jahrbuch Technik und Gesellschaft, Band 8, Theoriebausteine der Techniksoziologie, Frankfurt/M., New York, S. 153-183.

Schneider, J., 1993: Essen aus der Retorte, in: Forum Wissenschaft, Jg. 10, Heft 1, S. 20-23.

Schot, J., 1991: Technology Dynamics: An Inventory of Policy Implications for Constructiv Technology Assesment, (Nota) University of Twente, Werkdocument 35.

Schulz-Schaeffer, I., Jonas, M., Malsch, Th., 1995: Internmediäre Kooperation zwischen akademischer Forschung und Industrie - ein innovationstheoretischer Ansatz, Beitrag zur Tagung der Sektion Wissenschafts- und Technikforschung "Wissenschafts- und Technikstandort Deutschaland", auf dem 27. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Soziologie "Gesellschaften im Umbruch", Halle/Saale, 3.-7.4.1995, Ms.

Schumann, M., Baethge-Kinsky, V., Neumann, U., Springer R., 1990: Breite Diffusion der Neuen Produktionskonzepte - zögerlicher Wandel der Arbeitsstrukturen, Zwischenergebnisse aus dem "Trendreport - Rationalisierung in der Industrie", in: Soziale Welt, Jg. 41, Heft 1, S. 47-69.

Schumann, M., Baethge-Kinski, V., Kuhlmann, M., Kurz, C., Neumann, U., 1994: Trendreport Rationalisierung, Automobilindustrie, Werkzeugmaschinenbau, Chemische Industrie, Berlin.

Schumm, W., 1992: Sozialwissenschaftliche Technikgeneseforschung und Chancen von Technologiepolitik, in: Bergstermann, J., Manz, T., (Hrsg.), Technik gestalten, Risiken beherrschen, Berlin, S. 37-50.

Schumpeter, J., A., 1912: Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung, Leipzig.

Scott, J., 1991: Network Analysis: A Handbook, London, England, and Newbury Park, CA: Sage Publications.

Scott, W., R., Meyer, W., 1991: The Organization of Societal Sectors: Proposition and Early Evidence, in: Powell, W., W., DiMaggio, P., J., (Eds.), The New Institutionalism in Organizational Analysis, Chicago, London, S. 108-140.

Semlinger, K., 1993: Economic Development and Industrial Policy in Baden-Wuerttemberg: Small Firms in a Benevolent Environment, in: European Planning Studies, 1, S. 435-464. (Zit. nach: Cooke 1996)

Senge, P., M., 1990: The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization, New York.

Sengenberger, W., 1988: Mehr Beschäftigung in Klein-und Mittelbetrieben, in: WSI-Mitteilungen 41, Heft 8, S. 493-501.

Sengenberger, W., Loveman, G., 1988: Small Units of Employment. A Synthesis Report of Industrial Reorganisation in Industrialised Countries. International Institut for Labour Studies (IILS/ILO), Geneva.

Silverberg, G., 1988: Modelling economic dynamics and technical change: mathematical approaches to selforganisation and evolution, in: Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., Soete, L., (Eds.), Technical Changes and Economic Theory, Pinter, London, S. 531-559.

Sorge, A., 1985: Informationstechnik und Arbeit im sozialen Prozeß. Frankfurt/New York.

Springer, R., 1987: Die Entkopplung von Produktions- und Arbeitsprozeß, in: Zeitschrift für Soziologie, Jg. 16, Heft 1, S. 33-43.

Stiglitz, J., 1987: Learning to Learn, Localized Learning and Technological Progress, in: Dasgupta, P., Stoneman, P., (Eds.), Economc Policy and Technology Performance, Cambridge: Cambridge University Press, S. 125-153.

Strassmann, W., 1959: Creative Destruction and Partial Obsolescene in American Economic Development, in: Journal of Economic History, September. (zit. nach: Rosenberg 1982)

Sydow, J., 1993: Strategische Netzwerke: Evolution und Organisation, Wiesbaden.

Tacke, V., 1995: 'Netzwerk' als Formel für die Selbstbeschreibung von Organisationen, Ms., Bielefeld.

Teubner, G., Willke, H., 1984: Kontext und Autonomie. Gesellschaftliche Selbststeuerung durch reflexives Recht, in: Zeitschrift für Rechtssoziologie, Heft 5, S. 4-35.

Teubner, G., 1987: Hyperzyklus in Recht und Organisation. Zum Verhältnis von Selbstbeobachtung, Selbstkonstitution und Autopoiese, in: Haferkamp, H., Schmid, M., (Hrsg.), Sinn, Kommunikation und soziale Differenzierung, Frankfurt/M., S. 89-128.

Teubner, G., 1992: Die vielköpfige Hydra: Netzwerke als kollektive Akteure höherer Ordnung, in: Krohn, W., Küppers, G., (Hrsg.), Emergenz: Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung, Frankfurt/M., S. 189-216.

Theis, A.,M., 1994: Organisationskommunikation, Opladen.

Thompson, J., D., 1967: Organizations in Action. Social Science Bases of Administrative Theory, New York.

Thurow, L., 1992: "Head to Head", New York. (Zit. nach: Cooke 1996)

Toffler, A., 1975: Die Grenzen der Krise. Bern, München.

Tushman, M., L., Anderson, L., 1986: Technological Discontinuities and Organizational Environments, in: Administrative Science Quarterly, Vol. 31, S. 439-465.

Tushman, M., L., Nelson, R.,R., 1990: Introduction: Technology, Organizations, and Innovation, in: Administrative Quarterly, Vol. 35, S. 1-8.

Tushman, M., L., Rosenkopf, L., 1992: Organizational Determinants of Technological Change: Toward a Sociology of Technological Evolution, in: Research in Organizational Behavior, Vol. 14, S. 311-347.

VDMA 1992: Statistiken aus dem deutschen Werkzeugmaschinenbau 1991, Frankfurt/M.

VDMA 1995: Statistiken aus dem deutschen Werkzeugmaschinenbau 1994, Frankfurt/M.

VDMA 1996: Fachgemeinschaft Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme im VDMA, Konjunktur und Statistik, Frankfurt/M.

VDW 1987: Schlüsselzahlen aus der deutschen Werkzeugmaschinenbauindustrie, Faltblatt, Frankfurt/M.

VDW 1991: Altersstruktur des industriellen Werkzeugmaschinenparks in Deutschland, Frankfurt/M.

VDW-Mitteilungen 1993: Bericht zur Konjunktursituation der Werkzeugmaschinenbauindustrie, Frankfurt/M.

VDW 1994: Schlüsselzahlen aus der deutschen Werkzeugmaschinenbauindustrie, Faltblatt, Frankfurt/M.

VDW 1995: Schlüsselzahlen aus der deutschen Werkzeugmaschinenbauindustrie, Faltblatt, Frankfurt/M.

VDW 1996: Schlüsselzahlen aus der deutschen Werkzeugmaschinenbauindustrie, Faltblatt, Frankfurt/M.

Veblen, T., 1915: Imperial Germany and the Industrial Revolution, New York (zit. nach: Ortmann 1994).

Vieweg, H., G., Hilpert, H., G., 1993: Der Werkzeugmaschinenbau Japans - Ein Strukturvergleich zwischen der deutschen und der japanischen Branche, in: IFO-Institut für Wirtschaftsforschung, Japan-Studienstelle, Analysen - Prognosen, Nr. 80, München.

Vollmer, H., 1996: Die Institutionalisierung lernender Organisationen. Vom Neo-Institutionalismus zur wissenssoziologischen Aufarbeitung der Organisationsforschung, in: Soziale Welt, Jg. 47, Heft 3, S. 315-343.

Von Foerster, H., 1984: Principles of Self-Organization. In a Socio-Managerial Context, in: Ulrich,

H., Probst, G., J., B., (Hrsg.), Self-Organization and Management of Social Systems. Insights, Promises, Doubts, and Questitions, Berlin, S. 2-24.

Von Foerster, H., 1992: Entdecken oder Erfinden, wie läßt sich Verstehen verstehen, in: Gumin, H., Meier, H., (Hrsg.), Einführung in den Konstruktivismus, München, S. 41-88.

Wagner, G., 1994: Vertrauen in Technik, in: ZfS, Jg. 23, H. 2, S. 145-157.

Walras, L., 1881: Mathematische Theorie der Preisbestimmung der wirthschaftlichen Güter, Stuttgart.

Weick, K., E., 1985: Der Prozeß des Organisierens, Frankfurt/M.

Weingart, P., (Hrsg.), 1989a: Technik als sozialer Prozeß, Frankfurt.

Weingart, P., 1989b: "*Großtechnische Systeme*" - ein Paradigma der Verknüpfung von Technikentwicklung und sozialem Wandel? in: Weingart, P., (Hrsg.), 1989: Technik als sozialer Prozeß, Frankfurt, S. 174-196.

Weingart, P., 1989c: Einleitung, in: Weingart, P., (Hrsg.), 1989: Technik als sozialer Prozeß, Frankfurt, S. 8-14.

Weißbach, H.-J., Witzgall, E., Vierthaler, R., 1990: Außendienstarbeit und neue Technologien. Branchentrends, Fallanalysen, Interviewauswertungen. Opladen.

Weizenbaum, J., 1978: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft, Frankfurt/M.

Wellman, B., 1988: Network Analysis: From Method and Metaphor to Theory and Substance, in: Wellman, B., & Berkowitz, D., (Eds.), Social Structure: A Network Approach, New York, S. 19-61.

Werle, R., 1995: Rational Choice und rationale Technikentwicklung, in: Halfmann, J., Bechmann, G., Rammert, W., (Hrsg.), Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 8: Theoriebausteine der Techniksoziologie, Frankfurt/New York, S. 49-76.

Weyer, J., 1993: Akteurstrategien und strukturelle Eigendynamiken. Raumfahrt in Westdeutschland 1945-1965, Göttingen.

Weyer, J., 1995: Weder Macht noch Anarchie. Soziale Netzwerke im Spannungsfeld von Institutionalismus und Selbstorganisationstheorie, Ms. IWT Bielefeld.

White, H., C., 1981: Where do markets come from? in: AJS, Volume 87, Number 3, S. 517-547.

Wieandt, A., 1992: Innovation and the Creation, Development and Destruction of Markets in the World Machine Tool Industry, Wissenschaftszentrum Berlin, FS IV 92 - 20, Berlin.

Wiesenthal, H., 1995: Konventionelles und unkonventionelles Lernen: Literaturreport und Ergänzungsvorschlag, in: ZfS, Jg. 24, Heft 2, S. 137-155.

Wildemann, H., 1994: Das lernende Unternehmen. Weniger Verschwendung und Fehlleistung durch Lernen in der Organisation, in: Technische Rundschau, Jg. 86, Nr. 29/30, S. 14-18.

Williamson, O., E., 1975: Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications, New York.

Williamson, O.. E., 1981: The Economics of Organization: The Transaction Cost Approach, in: American Journal of Sociology, Vol. 87, Nr. 3, S. 548-577.

Williamson, O., E., 1990: Die ökonomischen Institutionen des Kapitalismus, Tübingen.

Williamson, O., E., 1991: Comparative economic organization: The analysis of discrete structural alternatives, in: Administrative Science Quarterly, Vol. 36, 269-296.

Willke, H., 1987: Kontextsteuerung und Re-Integration der Ökonomie - zum Einbau gesellschaftlicher Kriterien in ökonomische Rationalität, in: Glagow, M., Willke, H., (Hrsg.), Dezentrale Gesellschaftssteuerung. Probleme der Integration polyzentrischer Gesellschaft, Pfaffenweiler, S. 155-172.

Willke, H., 1989: Systemtheorie entwickelter Gesellschaften, München.

Willke, H., 1996: Systemtheorie II: Interventionstheorie. Grundzüge einer Theorie der Intervention in komplexe Systeme, Stuttgart/Jena.

Womack, J., P., Jones, D., T., Roos, D., 1990: The Machine that changed the world, New York.

Wood, S., 1986: Neue Technologien, Arbeitsorganisation und Qualifikation: die britische Labour-Process-Debatte, in: Prokla, Jg. 16, Heft 62, S. 74-104.

Wright, T., P., 1936: Factors Affecting the Cost of Airplanes, in: Journal of Aeronautical Science 3 (Februar 1936), S. 122-128. (Zit. nach: Hippel, Tyre 1995)

Zörgiebel, W.W., 1983: Technologie in der Wettbewerbsstratgie. Strategische Auswirkungen technologischer Entscheidungen untersucht am Beispiel der Werkzeugmaschinenbauindustrie, Berlin.

Zündorf, L., Grunt, M., 1982: Innovationen in der Industrie: Organisationsstrukturen und Entscheidungsprozesse betrieblicher Forschung und Entwicklung, Frankfurt/M.

Weitere benutzte Informationsquellen: Verschiedene Ausgaben von

- Der Spiegel
- Frankfurter Allgemeine Zeitung
- Manager Magazin
- Mitteilungen für den Maschinenbau
- Neue Westfälische
- Süddeutsche Zeitung
- Technische Rundschau
- VDI-Nachrichten
- WZB-Mitteilungen
- IFO-Analysen.